

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA  
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky



**Využití konduktometru LTC pro charakterizaci proudění vody ve vrtech:  
Umělý vrt a terénní měření**

**Use of conductivity meter LTC to characterize the flow of groundwater in  
well: Use of artificial well and field monitoring**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Žaneta Rodovská

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: doc. RNDr. Jiří Bruthans, Ph.D.

Praha, 2016

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu. Souhlasím, aby byla diplomová práce umístěna do knihovny.

V Praze dne.....

Bc. Žaneta Rodovská

Podpis:.....

### **Poděkování:**

Ráda bych touto cestou poděkovala především svému vedoucímu diplomové práce Jiřímu Bruthansovi za odborné vedení, trpělivé rady a cenné připomínky při zpracování této diplomové práce a drahocenný čas, který mi věnoval, když jsem potřebovala. Dále bych ráda poděkovala Janu Kukačkovi za spolupráci na lokalitě v Hradci Králové a v Lanškrouně a Petru Velebovi za spolupráci a umožnění přístupu na lokalitu v Pardubicích. Mé poděkování také patří Magdaléně Rybářové, Františku Balákovi, Aleně Vackové a Janu Soukupovi, kteří mi pomáhali při terénních pracích a měřeních na lokalitě Káraný. Dále bych ráda poděkovala Tomáši Mohylovi, Jaroslavu Řihoškovi, Monice Černíkové a Jakubovi Roháčovi za pomoc v průběhu laboratorních prací. V neposlední řadě bych ráda poděkovala celé mé rodině a přátelům za psychickou podporu a trpělivost.

Práce byla vypracována za částečné podpory projektu TAČR 2021263: Inovace a využití cirkulačních vrtů s vloženým reaktorem v sanační geologii a NAZV QJ 1320213 Inovace systémů zemědělského hospodaření v prostředí kvartérních sedimentů, jejich ověření a aplikace v ochranných pásmech vodních zdrojů

## OBSAH:

Abstrakt.....	6
1. Úvod.....	8
2. Rezistivimetrie označené kapaliny.....	10
2. 1. Postup měření.....	11
2. 2. Interpretace naměřených dat .....	12
2. 2. 1. Výpočet intenzity horizontálního proudění.....	13
2. 2. 2. Výpočet intenzity vertikálního proudění.....	15
3. Charakteristika zájmových území.....	17
3. 1. Obecný popis a vymezení lokalit.....	17
3. 1. 1. Oblast Káraný.....	17
3. 1. 2. Hradec Králové.....	22
3. 1. 3. Černá za Bory.....	25
3. 1. 4. Lanškroun.....	27
4. Metodika práce.....	29
4. 1. Použité přístroje.....	30
4. 2. Zvýšení mineralizace vody ve vrtu.....	31
4. 3. Laboratorní práce.....	32
4.3.1. Míra míšení roztoku fluoresceinu.....	34
4.3.2. Změna geometrie LTC čidla.....	34
4.3.3. Ověření vymývání stopovače.....	36
4. 4. Terénní měření.....	37
4.4.1. Postup měření.....	37
4.4.2. Zpracování dat.....	41
5. Vyhodnocení a diskuze výsledků .....	43
5. 1. Laboratorní měření.....	44



5.1.1. Míšení roztoku fluoresceinu.....	44
5.1.2. Upravená geometrie LTC čidla.....	47
5.1.3. Ověření vymývání stopovače.....	49
5. 2. Metoda ředění označené kapaliny.....	51
5.2.1. Výsledky z měření v oblasti Káraný.....	51
5.2.2. Výsledky z měření v Hradci Králové.....	76
5.2.3. Výsledky z měření v Černá za Bory.....	87
5.2.4. Výsledky z měření v Lanškrouně.....	89
5. 3. Výsledky měření s upraveným LTC čidlem.....	93
5. 4. Měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu.....	102
5.4.1. Vyhodnocení stabilního měření na lokalitě Káraný.....	103
5.4.2. Vyhodnocení stabilního měření na lokalitě Hradec Králové.....	124
5.4.3. Vyhodnocení stabilního měření na lokalitě Černá za Bory.....	126
6. Diskuze.....	139
7. Závěr.....	141
8. Použitá literatura.....	144
SEZNAM PŘÍLOH.....	148

## Seznam použitých zkratk

obr. - obrázek

tab. - tabulka

tzv. - takzvaný

PVC - polyvinylchlorid

LTC – samočinné konduktometrické čidlo Levellogger Junior od firmy Solinst

**Abstrakt:**

Ve své diplomové práci se zabývám metodou ředění označené kapaliny za využití samočinných konduktometrických čidel (Levellogger, firma Solinst). Cílem práce je ověření použitelnosti těchto čidel ke sledování pohybu kapaliny ve vrtech. Pro účely toho výzkumu jsem použila kromě metody ředění s pohybujícím se čidlem také metodu se stabilně umístěnými čidly ve vrtu a čidlo s upravenou geometrií tvaru okolo měřící štěrbiny. Celkově jsem měření uskutečnila na 15 vrtech ve fluvialních sedimentech a 11 vrtech v křídových horninách. Z výsledků měření vyplývá, že nejvyšší rychlosti proudění poskytuje čidlo bez upravené geometrie tvaru. V průměru o 40 - 50 % nižší rychlosti, než pohybující se čidlo, vykazuje způsob měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu. Kombinace měření se stabilně umístěnými čidly a s pohybujícím se čidlem vykazuje přibližně o 40 % vyšší rychlosti proudění, než pouze stabilně umístěná čidla ve vrtu. Z dosažených výsledků také vyšlo najevo, že nízké a extrémně pomalé hodnoty rychlosti proudění (přibližně pod 0,02 m/den) jsou schopny změřit pouze stabilně umístěná čidla ve vrtu. Upravená geometrie tvaru pohybujícího se čidla nepřinesla žádoucí výsledky zlepšení vymytí stopovače z měřící štěrbiny.

**Abstract:**

My Master thesis is focused on a tracer dilution technique in the well using automatic conductivity logging probes LTC Levellogger (Solinst co. Canada). The main aim of my thesis was to test the application conductivity meters LTC to track the movement of fluids in wells. Different set up were used moving probes with unmodified sensor slit, moving probes with modified sensor slit, probes measuring at fixed points, combined moving and fixed points probes and results were compared. 15 wells in quaternary and 11 wells in Bohemian Cretaceous Basin were measured, some of them repeatedly. The comparison of results indicate that the highest apparent flow velocity have probes with unmodified sensor slit. On the other hand fixed point probes indicate flow velocity, which is 40 - 50% lower at the same wells. The combination of the stable positioned probe LTC and the moving probe LTC has about 40% higher flow velocity than the rate of steady probe LTC placed in the well. The results also indicate that extremely slow velocity values (below approximately 0.02 m/day) can be measured only with LTC probes at fixed points. Modified probe slit was tested in the laboratory in plexi-glass tube using fluorescein and NaCl tracers. Unfortunately the modified geometry of measuring slit does not show distinctively better results than original shape of measuring slit.

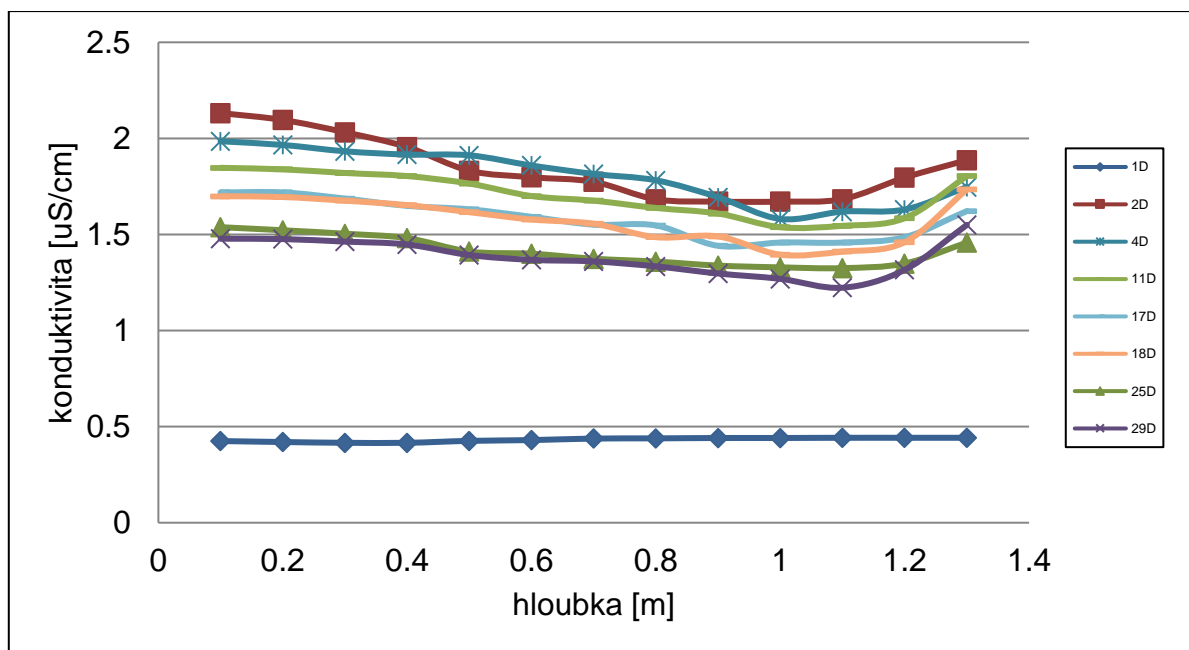
# 1. Úvod

V posledních desetiletích se zásadně změnil účel hydrogeologických prací. V minulosti bylo hlavním cílem vyhledání dostatečně vydatného zdroje pitné vody, což znamenalo získání vrtu s dostačující vydatností a příznivým chemickým složením. Otázka jak proudí voda ve vrtech a z jakého hloubkového intervalu do vrtu voda přitéká, byla ve většině případů okrajová. V současné době je největší intenzita hydrogeologických prací směřována do odstranění starých ekologických zátěží, často s použitím chemických reaktantů, které jsou injektovány do vrtů. V takových situacích je zcela kritické porozumět proudění vody ve vrtu. Správně interpretovat koncentrace látek ze vzorků odebraných z vrtů a vývoj chemizmu v čase lze jen v případě, pokud je známo, z jakých hloubkových úrovní voda do vrtu přitéká a jakým způsobem vrtem proudí (srov. Mayo, 2010). Nejčastěji aplikovanou geofyzikální metodou, která nám poskytne základní informace o charakteru proudění podzemní vody ve vrtu, je rezistivimetrie označené kapaliny (Mareš et al., 1979).

Metoda ředění známé koncentrace stopovače může být použita v různých hydrologických a hydrogeologických prostředích k získání informací o pohybu kapaliny ve vrtu a kontaminačních transportech (Käss et al., 1998). Jak popisuje Halevy et al. (1967) principem této metody je sledování změn koncentrace zavedeného stopovače v čase. Změny v koncentracích stopovače jsou pak způsobeny prouděním podzemní vody ve vrtu a difuzí. Ve světě byla tato metoda použita například k identifikaci zlomů (Maurice et al., 2011) nebo k charakterizaci proudění vody v puklinách, kterou se zabývali Brainerd a Robbins (2004). V České republice je obvykle využívána metoda rezistivimetrie označené kapaliny, kterou se zabývali ve svých publikacích například Lukeš 1974; Mareš a Zbořil, 1978; Pitrák a Kobr, 2001.

Geofyzikální metoda rezistivimetrie pracuje na principu měření elektrického odporu kapaliny ve vrtu. Tato metoda je založena na snížení měrného elektrického odporu kapaliny ve vrtu přidáním roztoku kuchyňské soli (NaCl) (Pitrák, 2007). Následně se pak monitoruje přitékající podzemní voda do vrtu, která způsobí navýšení až přiblížení se k původní hodnotě měřeného elektrického odporu kapaliny ve vrtu (Mareš a Valtr, 1987). Rezistivimetrie se používá k pochopení charakteru proudění vody ve vrtu, k rozpoznání propustných a nepropustných horizontů nebo ke stanovení šíření kontaminačního mraku (M. Procházka, ústní sdělení).

V rámci své bakalářské práce (Rodovská, 2013) jsem využila jako stopovač roztok NaCl, jehož změnu v konduktivitě v čase jsem sledovala pomocí samočinného konduktimetrického čidla LTC Junior od Kanadské firmy Solinst (dále LTC) se současným měřením tlaku a teploty vody. Z práce vyplynulo, že geometrie čidla není ideální, výsledné křivky postupného vývoje koncentrací solného roztoku ve vrtu v některých případech obsahují posunuté úrovně rozhraní až o 1 m (Obr. 1).



**Obrázek 1:** Záznam z čidla LTC z měření (5. 5. 2013), průtok 4 l/hod, celková doba měření 2 hod, D - pohyb čidlem pouze směrem dolů (Rodovská, 2013).

Posun rozhraní je bez pochyby artefaktem a může být zapříčiněn dvěma různými procesy:

1. Rozmývání stopovače ve vertikálním směru v důsledku pohybu čidla, které s sebou strhává stopovač a rozmíchává jej ve vodním sloupci ve vrtu (pohyb čidla tedy mění skutečnou koncentraci stopovače ve vrtu), nebo
2. Stopovač v měřicí šterbině čidla (Obr. 2) se vymývá v některých případech pomalu a dochází k tomu, že čidlo zaznamenává hodnoty posunuté až o desítky cm z místa, kde se takové koncentrace vyskytují (naměřené koncentrace čidlem se týkají měřicí šterbiny, nikoli hodnot ve vodě okolo čidla).



**Obrázek 2:** Měřicí štěrbin v čidle LTC Levellogger firmy Solinst (Solinst, 2016).

Cílem mé diplomové práce je získání většího souboru dat z metody ředění na různých mělkých vrtech za přirozeného proudění vody a tím ověření použitelnosti LTC čidel ke sledování pohybu kapaliny ve vrtech. Dalším cílem je pokusit se určit do jaké míry dochází k rozmývání stopovače ve vertikálním směru díky pohybu čidla a k strhávání stopovače v měřicí štěrbině čidla. S tím také souvisí úkol pokusit se nalézt způsob měření a případně upravit geometrie sondy tak, aby došlo k minimalizaci míšení. Posledním cílem této práce je pokusit se využít časový záznam poklesu konduktivity na stabilně umístěných čidlech pro stanovení intenzity proudění ve vrtech a srovnání s klasickým měřením pohybujícím se čidlem.

## **2. Rezistivimetrie označené kapaliny**

Nejčastěji aplikovanou geofyzikální metodou, která nám poskytne základní informace o charakteru proudění podzemní vody ve vrtu, je metoda ředění označené kapaliny. Poprvé byl princip metody ředění označené kapaliny popsán v 20. letech 20. století O. J. Kocherinem (Halevy et al., 1967). V ČR se tato metoda dále rozvíjela díky prof. S. Marešovi. V současnosti je tato karotážní metoda zaměřená na proudění vody ve vrtech zcela běžně využívána v geofyzice (M. Kobr, ústní sdělení).

Podle M. Procházky (ústní sdělení) nachází metoda ředění označené kapaliny své praktické využití například při určování šíření kontaminačního mraku, při výstavbě tunelů metra nebo také při zjišťování míst s vysokým rizikem sesuvu. Dále tato metoda nachází své uplatnění při

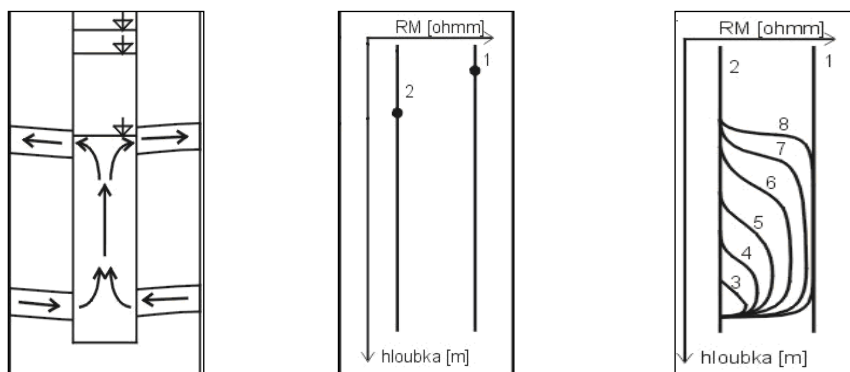
správné interpretaci chemizmu vody při vzorkování vrtu nebo při identifikaci zlomů (Maurice et al., 2011).

## 2. 1. Postup měření

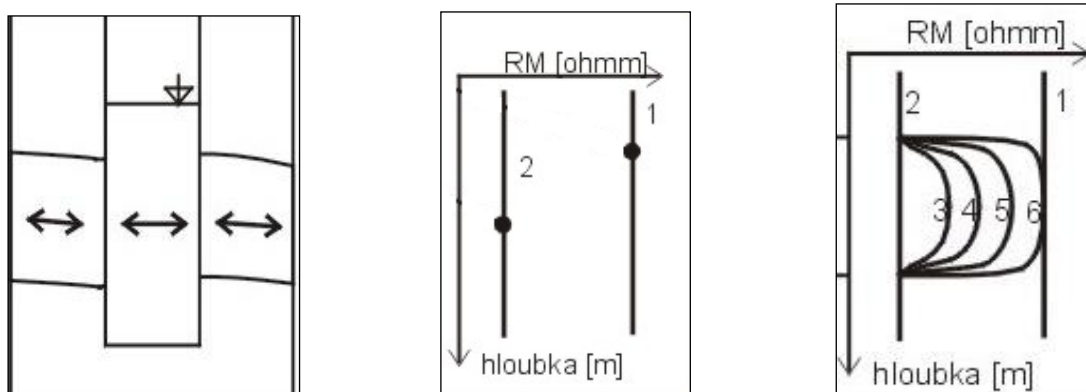
Metodu ředění označené kapaliny ve vrtu lze využívat buď za přírodních podmínek, nebo za uměle vyvolaného proudění, čímž je myšleno čerpání nebo konstantní nálev. Měření za uměle vyvolaného proudění se používá tehdy, pokud za přírodních podmínek neidentifikujeme proudění ve vrtu (Kobr, ústní sdělení). Nejprve se před samotným měřením zjistí přírodní hodnoty konduktivity ve vrtu, následně dojde ke zvýšení mineralizace vody ve vrtu díky přidání chloridu sodného. Navýšení mineralizace v praxi dosahuje maximálně čtyřnásobku přírodní mineralizace, aby nedošlo k hustotnímu proudění (Mareš a Valtr, 1987; Pitrák, 2007). Navýšení mineralizace a samotná úprava vody ve vrtu se většinou provádí umístěním kuchyňské soli do silonové jemné síťoviny, která je vložena do ocelového válce s otvory tzv. solničky (Mareš a Zbořil, 1978). Podle M. Procházky (ústní sdělení) se také využívá tzv. posypová sůl, která se rozpouští pomaleji, což je nezbytné u velmi hlubokých vrtů. Kontinuální rozmíchání soli v celém vrtu je možné díky posouvání solničky v celé zvodnělé mocnosti vrtu (Halevy et al., 1967).

Principem metody je, že podzemní voda přitékající do vrtu se liší svou konduktivitou od vody, která je upravená rozpuštěním NaCl ve vrtu. Přitékající podzemní voda postupně naředí upravenou vodu, což se projeví snížením konduktivity. Poté co vodu ve vrtu upravíme pomocí kuchyňské soli, následuje první záznam měření (Mareš a Valtr, 1987). Následně pak v určitých časových intervalech dochází k registraci dalších záznamů (Procházka, ústní sdělení). Podle J. Lukeše (1974) jsou záznamy získané během spouštění sondy do vrtu považovány za prioritní a záznamy změřené při vytahování sondy pouze za orientační. Během pohybu sondy směrem dolů dochází díky objemu měřicí sondy a kabelu k zatlačování kapaliny ve vrtu obsypu za perforovanou pažnicí. K obrácenému efektu pak dochází v případě pohybu sondou směrem nahoru.

Na obrázku 3 je znázorněn postup měření metodou ředění označené kapaliny a záznam vertikálního proudění za přírodních podmínek. Na obrázku 4 pak lze vidět záznam horizontálního proudění za přírodních podmínek pomocí metody ředění označené kapaliny.



**Obrázek 3:** Metoda ředění označené kapaliny, záznam vertikálního proudění za přírodních podmínek, 1• přírodní záznam hodnoty odporu kapaliny, 2• záznam hodnoty odporu po homogenní úpravě odporu solí (NaCl), 3 – záznam znázorňující fyzikální rozhraní ve vrtu mezi přitékající čistou vodou a vodou upravenou, 4 – 8 záznam představuje pohyb tohoto rozhraní, který je řízen směrem a velikostí rychlosti proudění, koncový záznam zobrazuje návrat hodnoty odporu vody na původní přírodní hodnotu, v polohách bez proudění nedochází k návratu odporu na původní hodnoty (Pitrák a Kobr, 2001).



**Obrázek 4:** Metoda ředění označené kapaliny, záznam horizontálního přírodního proudění, 1• přírodní záznam hodnoty odporu kapaliny, 2• záznam hodnoty odporu bezprostředně po úpravě kapaliny, 3 – 6 prezentuje horizontální proudění v propustné poloze a pohyb fyzikálního rozhraní (Pitrák a Kobr, 2001).

## 2. 2. Interpretace naměřených dat

Časové série konduktivity získané z měření se interpretují tak, že na vertikální osu se vynáší hloubka vrtu a na horizontální osu elektrický odpor vody ve vrtu. Fyzikální rozhraní je znázorněno jako souvislá křivka, která vede mezi minimálními a maximálními hodnotami konduktivity (Pitrák a Kobr, 2001).



### 2. 2. 1. Výpočet intenzity horizontálního proudění

Intenzita horizontálního proudění vody ve vrtu se určuje dle kvantitativních údajů rychlost proudění  $v$  [m/s] a vydatnost  $q$  [m<sup>3</sup>/s] (Pitrák a Kobr, 2001). Interpretace dat u horizontálního proudění vody směřuje k výpočtu filtrační rychlosti v jednotlivých horizontech a platí zde vztah vyjádřený následující rovnicí (1) (Mareš a Valtr, 1987):

$$v_a = (3,62 \cdot r / \Delta t) \log [(C_1 - C_0) / (C_t - C_0)] \quad (1)$$

kde,

$\Delta t = t_i - t_1$  – je časový rozdíl mezi dobou, kdy byla ve vrtu měřena koncentrace  $C_t$  a

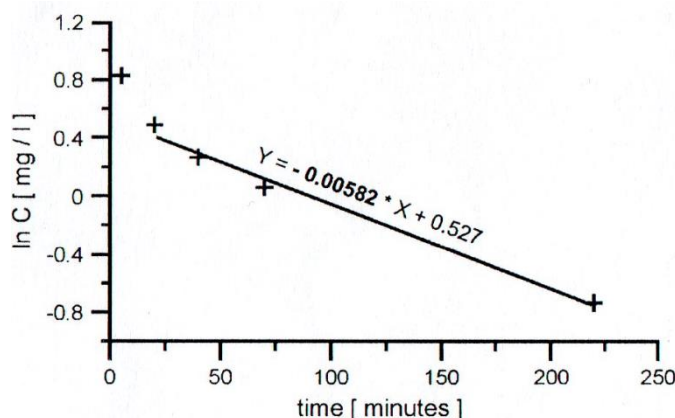
okamžikem bezprostředně po úpravě vody, kdy byla ve vrtu objevena koncentrace  $C_1$ ,

$C_0$ ,  $C_1$  – koncentrace stopovací látky ve vrtu před úpravou, tj. za přírodních podmínek a bezprostředně po úpravě kapaliny,

$C_t$  – koncentrace stopovací látky v čase  $t_i$

$r$  – poloměr vrtu.

Pro výpočet zdánlivé filtrační rychlosti se využívá regrese v semilogaritmickém grafu (Obrázek 5). Zdánlivá filtrační rychlost se vypočítává pro každý hloubkový interval zvlášť. Základ výpočtu spočívá v lineární regresi, která znázorňuje závislost z průměrného intervalu koncentrace stopovací látky na čase. Jak lze vidět na obrázku 3, je sklon regresní přímky přímo úměrný horizontální rychlosti proudění (Pitrák et al., 2007). Rychlost horizontálního proudění ve vrtu se vyhodnocuje ze všech naměřených hodnot konduktivity v dané hloubce najednou, a to proložením přímky, z jejíž směrnice se následně vypočte rychlost (Pitrák, osobní sdělení).



**Obrázek 5:** Příklad regrese v semilogaritmickém grafu používané pro výpočet zdánlivé filtrační rychlosti (Pitrák et al., 2007).

K opravě zdánlivé rychlosti na rychlost filtrační je zapotřebí, aby byl brán v potaz tzv. drenážní koeficient. Je nutné uvážit, že vrt je vždy více propustný, než okolní prostředí. Podzemní voda do vrtu tedy přitéká z větší šířky, než je samotný průměr vrtu. Všeobecně uznávaný je drenážní koeficient hodnoty dvě, což odpovídá přítoku podzemní vody do vrtu z dvakrát větší šířky, než je průměr vrtu. Zdánlivou rychlost tedy dělíme všeobecně akceptovaným drenážním koeficientem 2 (Pitrák et al., 2007).

Výpočet filtrační rychlosti lze vyjádřit vztahem následující rovnice (2) (Halevy et al., 1967):

$$V_f = - V / \alpha F t * \ln c / C_o \quad (2)$$

kde,

$V$  je objem vody, ve kterém dochází k ředění kapaliny ve vrtu,

$\alpha$  – drenážní koeficient,

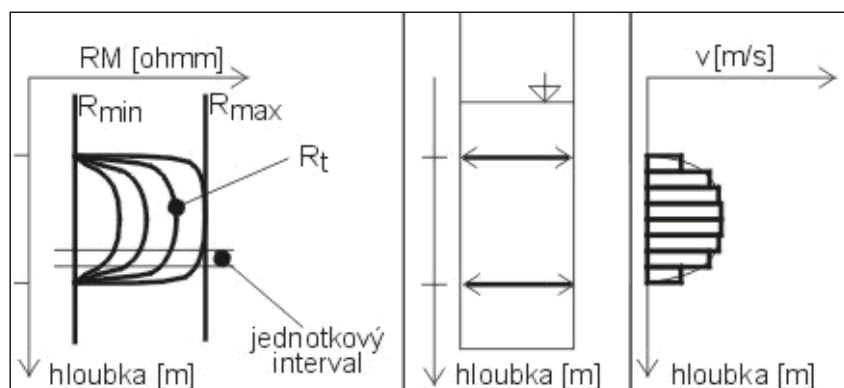
$F$  – příčná část měřeného objemu kolmo ke směru neporušeného proudění podzemní vody,

$t$  – časový interval mezi měřením koncentrací  $C_o$  a  $c$ .

$C_o$  – přírodní koncentrace stopovací látky ve vrtu před úpravou

c – koncentrace značící látky ve vrtu po úpravě vody.

Na obrázku 6 je znázorněn průběh výpočtu filtrační rychlosti.



**Obrázek 6:** Horizontální rychlost proudění  $v$  [m/s] je stanovena v jednotkových intervalech z posunu jedné vybrané křivky ( $R_t$ ) s počátkem registrace v čase  $t$  oproti první zaznamenané křivce, která vyjadřuje maximální prosolení, hodnota rychlosti je vztažena na střed jednotkového intervalu, po určení ve všech jednotkových intervalech v rámci jedné propustné polohy je znázorněn graf horizontální rychlosti v závislosti na hloubce (Pitrák a Kobr, 2001). Levý krajní obrázek znázorňuje křivky metody ředění, vpravo pak jim odpovídající body v grafu  $\log(R_{\max}/R_t)^{1.04}-1$  v závislosti na čase (Pitrák a Kobr, 2001).

### 2. 2. 2. Výpočet intenzity vertikálního proudění

Vertikální pohyb kapaliny ve vrtu je stanoven pomocí kvantitativních údajů (vertikální rychlost proudění  $v$  [m/s] a vertikální průtok  $Q$  [m<sup>3</sup>/s]) a pomocí kvalitativních údajů, které představují místa přítoků a ztrát vody ve vrtu a směr pohybu vody ve vrtu (Pitrák a Kobr, 2001). Charakter časové série křivek konduktivity určuje směr vertikálního proudění ve vrtu. U vertikálního proudění pozorujeme odporové rozhraní v čase, které se vytvoří mezi přitékající podzemní vodou a vodou upravenou ve vrtu. Hloubka odporového rozhraní v kapalině je vytýčená střední koncentrací  $C = (C_1 + C_2)/2$  a této koncentraci odpovídajícím odporem  $R = f(C)$ .  $C_1$  je původní koncentrace rozpuštěné látky a  $C_2$  představuje konečnou koncentraci rozpuštěné látky. Z každého změřeného záznamu konduktivity vyčleníme jeden tzv. charakteristický bod, na který připadá jedna hloubková  $h$  souřadnice a časová  $t$  souřadnice (Mareš a Valtr, 1987). Charakteristický bod reprezentuje inflexní bod křivky, který je snadno určitelný. Inflexní bod, je bod, ve kterém dochází k přechodu křivky z konvexního do konkávního tvaru a naopak.

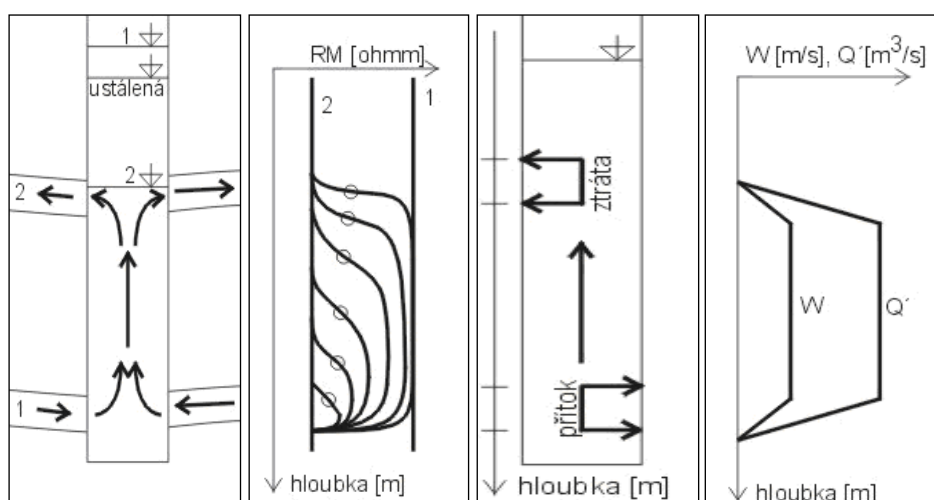
Pro výpočet vertikální rychlosti  $W_i$  mezi dvěma po sobě jdoucími záznamy platí vztah následující rovnice (3):

$$W_i = \Delta h_i / \Delta t_i \quad (3)$$

kde  $\Delta h_i$  je rozdíl v hloubce posunujícího se rozhraní,

$\Delta t_i$  – časový rozdíl odpovídající dvěma po sobě následujícím záznamům.

Na obrázku 7 je znázorněn průběh výpočtu vertikální rychlosti.

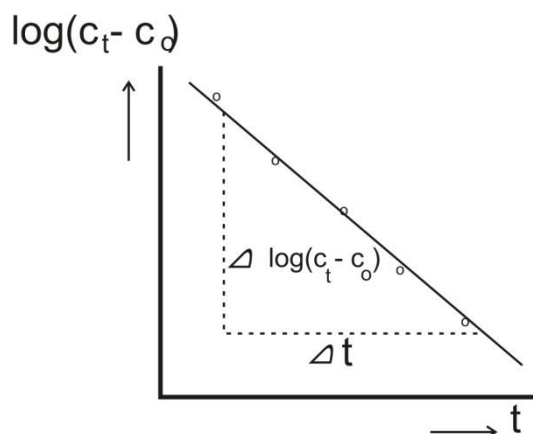


**Obrázek 7:** Stanovení vertikální rychlosti. Prázdná kolečka vyjadřují určené charakteristické body. Vertikální rychlost se následně určí z jejich hloubkového rozdílu a rozdílu časového, který je dán různým počátkem registrace křivek (Pitrák a Kobr, 2001).

Tato teorie stanovení vertikální rychlosti platí pro všechny druhy stopovacích látek a výsledek znázorňuje lineární vztah mezi přirozeným logaritmem koncentrace stopovací látky  $\ln(C_i)$  a časem  $t_i$ . Tento vztah vyjadřuje následující rovnice (4):

$$\ln(C_i) = -(2v_a / \pi r) t_i + \ln(C_1) \quad (4)$$

kde  $C_i$  je koncentrace stopovací látky v čase  $t_i$  po její aplikaci,  $C_1$  je koncentrace stopovací látky bezprostředně po aplikaci,  $r$  je poloměr vrtu a  $v_a$  je zdánlivá filtrační rychlost (Pitrak et al., 2007, viz Obr. 8).



**Obrázek 8:** Graf  $\log(C_t - C_0) = f(t)$  pro jeden dílčí úsek vyznačený v časové sérii rezistivimetrických záznamů (Mareš a Valtr, 1987).

V některých případech se setkáváme s tzv. kombinovaným prouděním ve vrtu (s vertikální a horizontální komponentou v některých úsecích). V současnosti se data vyhodnocují separátně pro horizontální a vertikální složky. (Procházka, osobní sdělení).

### 3. Charakteristika zájmových území

V rámci diplomové práce probíhala měření metodou ředění označené kapaliny na čtyřech zájmových lokalitách v České republice. Mezi vybrané lokality patří oblast jímacího řádu vodního zdroje Káraný (dále jen Káraný), areál firmy DS PHM Benzina s.r.o. v Hradci Králové (dále jen Hradec Králové), průmyslový areál mazutového hospodářství Pardubice – Černá za Bory (dále jen Černá za Bory) a areál firmy ALEMA Lanškroun a.s. ve městě Lanškroun (dále jen Lanškroun). Na všech lokalitách jsem použila metodu ředění označené kapaliny. Z geologického hlediska jsou lokality Káraný, Hradec Králové, Černá za Bory a Lanškroun vázané na kvartérní náplavy.

#### 3. 1. Obecný popis a vymezení lokalit

##### 3. 1. 1. Oblast Káraný

Zájmová lokalita Káraný nacházející se ve Středočeském kraji leží přibližně 30 km severovýchodním směrem od Prahy a 5 km východním směrem od města Brandýs nad Labem – Stará Boleslav. Leží na dolním toku řeky Jizery a pravém břehu řeky Labe v oblasti

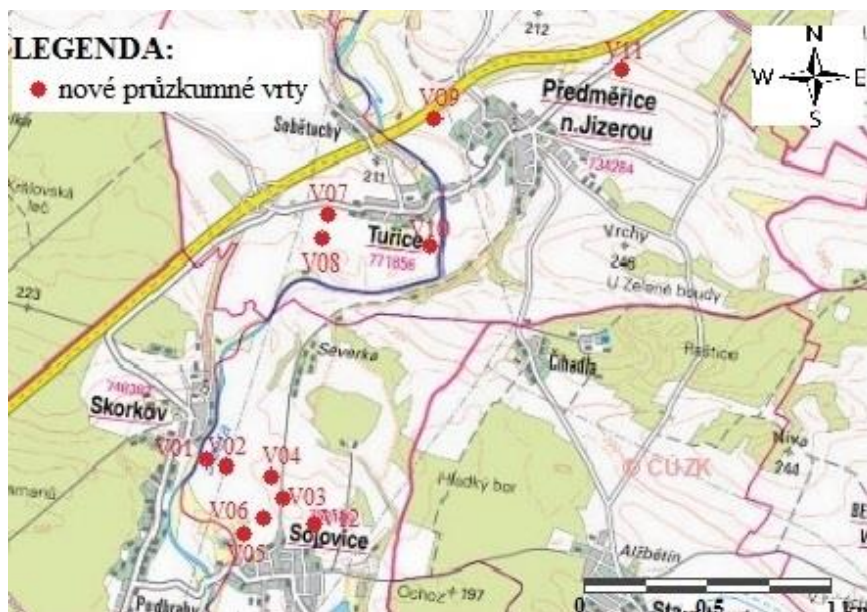
Skorkovského a Sojovického jímacího řadu vodního zdroje Káraný. Užší zájmové území spadá do okolí obcí Sojovice, Tuřice a Předměřice nad Jizerou.

Z klimatického hlediska zájmová oblast náleží do teplé oblasti (W2). Průměrný úhrn srážek v oblasti je 500 – 550 mm a průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 9 – 10 °C (Tolasz et al., 2007). Zájmová lokalita se z regionálně geologického hlediska nachází na jižním okraji České křídové pánve v Jizerské oblasti. Podloží křídových sedimentů je tvořeno metamorfovanými sedimenty tepelsko – barrandienského proterozoika a metamorfovaným ordovikem (tmavé břidlice a fylity) (Kaas et al., 1987; Chlupáč et al., 2011). Předkvartérní podloží je charakterizováno sedimentárními horninami svrchní křídy. Sedimenty svrchní křídy jsou zastoupeny pískovci a místy slepenci cenomanského stáří a slínovci, prachovci turonského stáří (Kass et al., 1987; Müller et al., 2001). Kvartérní sedimenty jsou zastoupeny především fluvialními sedimenty řeky Jizery. Fluvialní sedimenty jsou zastoupeny písky a štěrky, písčitými a hlinitými štěrky, nivní hlínou a hlinitými písky (Müller et al., 2001).

Z hydrogeologického hlediska spadá zájmová oblast do hydrogeologického rajónu 1171 – Kvartér Labe po Jizeru (ČHMÚ, 2015). Podle Krásného et al. (2012), který rozdělil českou křídovou pánev do hydrogeologických celků, spadá zájmová oblast do Boleslavsko – mělnického zvodnělého systému. Podle Herčíka et al. (2003), který rozdělil českou křídovou pánev na 10 bilančních celků, je území tvořeno bilančním celkem 2 – křída povodí Jizery a bilančním celkem 10 – labská křída. Pod hydrogeologické kolektory patří sedimenty jizerského souvrství (kolektor C) a perucko-korycanského souvrství (kolektor A). Hydrogeologický izolátor je pak tvořen teplickým a březenským souvrstvím (Krásný et al., 2012). Kolektor A je tvořen puklinově – průlinovou porozitou a má napjatou hladinu podzemní vody. Kolektor C má puklinově – průlinovou porozitu a volnou hladinu podzemní vody a (Herčík et al., 2003).

V zájmové oblasti je kromě těchto dvou křídových kolektorů také rozvinutý kvartérní kolektor, který je vázaný na sedimenty údolní terasy řeky Jizery. Hydrogeologická struktura, která vznikla spojením těchto fluvialních sedimentů, hydraulicky komunikuje s povrchovým tokem řeky Jizery (Herrmann a Kolaja, 1998). Kvartérní kolektor má průlinovou porozitu a volnou hladinu (Milický et al., 2012). Největší mocnosti kolektoru (cca 9,5 m) jsou typické pro oblast mezi Benátkami a Kochánkami a mezi Tuřicemi a Sojovicemi. Průměrná transmisivita kvartérního kolektoru dosahuje hodnoty  $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (Müller et al., 2001).

Terénní měření metody označené kapaliny se uskutečnila na nových průzkumných vrtech nesoucí označení V01 – V12, které byly vyvrtány v roce 2013 a to v rámci projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum na České geologické službě. Vrtý jsou situovány mezi obcemi Sojovice a Předměřice. Nejbližší vrtý se nachází ve vzdálenosti 12 m (V01) a okolo 100-130 m (V02, V10) od povrchového toku řeky Jizery. Detaily o lokalizaci jednotlivých vrtů jsou zobrazeny na obrázku 9. Základní informace o vrtech jsou uvedeny v tabulce 1.



**Obrázek 9:** Lokalizace nových průzkumných vrtů V01 – V12, podklad topomapa ArcGIS (ČÚZK, 2015).

**Tabulka 1:** Základní informace o vrtech V01 – V12 na lokalitě Káraný. v období 14. 3. – 25. 4. 2014

Vrt	Plná pažnice od – do (m p. t.)	Perforovaná pažnice od – do (m p. t.)	Výška kalníku od - do (m p. t.)	HPV (m p. t.)	Hloubka (m p. t.)	Odměrný bod nad terénem (m)
V01	0 – 3,5	3,5 – 7,0	7,0 - 7,5	4,54	7,5	0,76
V02	0 – 4,0	4,0 – 7,3	7,3 – 7,8	4,35	7,77	0,75
V03	0 – 4,0	4,0 – 9,7	9,7 – 10,2	6,12	10,25	0,85
V04	0 – 2,5	2,5 – 10,4	10,4 – 10,9	7,45	10,9	0,75
V05	0 – 2,5	2,5 – 7,2	7,2 – 7,7	3,53	8,49	0,83
V06	0 – 3,5	3,5 – 7,7	7,7 – 8,2	3,66	8,19	0,86
V07	0 – 3,0	3,0 – 8,5	8,5 – 9,0	6,93	9,0	0,77
V08	0 – 5,5	5,5 – 9,0	9,0 – 9,5	6,09	9,51	0,76
V09	0 – 3,0	3,0 – 8,7	8,7 9,2	4,12	9,24	0,81
V10	0 – 2,5	2,5 – 7,8	7,8 – 8,3	5,89	8,25	0,85
V11	0 – 13,0	13,0 – 27,3	27,3 – 27,8	16,15	27,77	0,83
V12	0 – 4,0	4,0 – 10,3	10,3 – 10,8	5,48	10,82	0,88

Z geologického hlediska je povrch terénu v zájmovém území tvořen písčitou hlínou. Pod hlínou byly zastíženy písky se štěrkem a valouny až štěrkopísky odpovídající kvartérním náplavům. Posledními metry vrtů byly zastíženy slínovce a prachovce svrchní křídý. Výjimkou je vrt V11, který byl vyhlouben až do křídových hornin jizerského souvrství. Ve vrtu V11 nebyla zastížena vrstva štěrkopísků, ale jílovitých a hlinitých písků do hloubky 4 metry, ve které se také nachází báze kvartéru. Litologie horninového prostředí v jednotlivých vrtech zobrazuje tabulka 2.



**Tabulka 2:** Litologie horninového prostředí v jednotlivých vrtech (převzato a upraveno z Rybářová 2015). HPV byla měřena v období 14. 3. – 25. 4. 2014

Označení vrtu	hloubka vrtu (m p. t.)	HPV (m p. t.)	báze štěrkopísků (m p. t.)	zvodnělá mocnost štěrkopísků (m)	mocnost nivních hlín (m)
V01	7,52	4,54	6,6	2	2
V02	8	4,35	7,5	3	0,4
V03	11,6	6,12	11,3	4,8	0,8
V04	11,6	7,45	11,2	3,8	0,3
V05	8,6	3,53	8,2	4,3	1,2
V06	9,7	3,66	9,3	5,6	0,3
V07	9,09	6,93	8	1,1	0,4
V08	9,8	6,09	8,9	2,7	1,4
V09	9,6	4,12	9,1	4,6	1
V10	9	5,89	7,6	1,6	1
V11	29	16,15	-	-	0,7
V12	12,5	5,48	12	6,3	0,4

Úrovně hladin podzemní vody v zájmové lokalitě ve vrtech se nacházejí přibližně ve stejné úrovni. V oblasti obce Sojovice je úroveň hladiny podzemní vody ve vrtech (V01 - V06 a V12) 172 – 173 m n. m. V oblasti obcí Tuřice a Předměřice se úroveň hladiny podzemní vody ve vrtech (V07 – V11) pohybuje v rozmezí od 175 – 180 m n. m. Detailní informace k jednotlivým úrovním hladin podzemní vody znázorňuje tabulka 3.

**Tabulka 3:** Úrovně hladin podzemní vody ve vrtech měřené v období 14. 3. – 25. 4. 2014 (souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Bpv).

Označení vrtu	HPV (m p. t.)	souřadnice Z (m n. m.)	úroveň HPV (m n. m.)
V01	4,54	177,5	172,96
V02	4,35	177,25	172,9
V03	6,12	179,41	173,29
V04	7,45	180,41	172,96
V05	3,53	175,72	172,19
V06	3,66	176,26	172,6
V07	6,93	182,99	176,06
V08	6,09	181,3	175,21
V09	4,12	181,03	176,91
V10	5,89	181,74	175,85
V11	16,15	196,57	180,42
V12	5,48	178	172,52

### 3. 1. 2. Hradec Králové

Zájmová lokalita Hradec Králové se nachází v Královéhradeckém kraji na východě Čech přibližně 114 km od Prahy východním směrem a 30 km severním směrem od Pardubic. Hlavním tokem v zájmovém území je řeka Labe s levostranným přítokem řeky Orlice.

Z klimatického hlediska zájmová oblast náleží do teplé oblasti (W2). Průměrný úhrn srážek v oblasti je 550 - 600 mm a průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 8 – 9 °C (Tolasz et al., 2007). Zájmová lokalita se z regionálně geologického hlediska nachází na území České křídové pánve v Labské oblasti na přechodu mezi svrchním turonem a coniakem. Předkvartérní podloží je charakterizováno slínovci turonského stáří a conianskými slínovci a vápnitými jílovci. Kvartérní sedimenty jsou tvořeny převážně fluvialními a deluvialními sedimenty řeky Labe a Orlice. Mezi fluvialní uloženiny se řadí štěrkové a písčité sedimenty (Burda et al., 1998).

Z hydrogeologického hlediska spadá zájmová oblast do hydrogeologického rajónu 1121 – Kvartér Labe po Hradec Králové (ČHMÚ, 2015). Podle Krásného et al. (2012) spadá zájmová oblast do Novobydžovského zvodnělého systému. Podle Herčíka et al. (2003) je území tvořeno bilančním celkem 10 – labská křída. Podzemní voda v křídových sedimentech je vázaná na cenomanské souvrství. Hydrogeologický kolektor je tvořen sedimenty perucko-korycanského souvrství s napjatou hladinou (kolektor A) (Herčík et al., 2003). Hydrogeologický izolátor je pak tvořen slínovci mladších křídových souvrství (Krásný et al., 2012).

Podle Kozubka (2008) se na zájmové lokalitě vyskytuje průlinový kolektor, který je vázaný na kvartérní náplavy, a je pro něj charakteristické střídání propustných a nepropustných vrstev. Hladina podzemní vody je v tomto kolektoru dotována atmosférickými srážkami. Ve větších hloubkách se vyskytuje průlinový kolektor, který je vázaný na kvartérní uloženiny a zónu zvětralinového pláště. Hladina podzemní vody je mírně napjatá a ovlivňována množstvím atmosférických srážek a hladinou povrchového toku řeky Labe.

Terénní měření metody označené kapaliny se uskutečnily na okrajových vrtech s označením CV1, MV1 – MV3 v areálu bývalého distribučního skladu pohonných hmot (DS PHM) firmy Benzina s.r.o. Tento areál se nachází přibližně 800 m severním směrem od hlavního nádraží v Hradci Králové v části Pražské Předměstí. Severně od areálu se nachází zemědělsky

obdělávána krajina, zbytek okolí tvoří intravilán města Hradec Králové. Vrtý byly vyvrtány v roce 2013 za výzkumným účelem firmy DEKONTA, a.s. Výzkumným účelem se myslí využití cirkulačního vrtu využívajícího inovativní technologie k odstranění kontaminantu z podzemní vody. Podzemní voda je v zájmové lokalitě masivně kontaminována především nepolárními extrahovatelnými látkami (NEL) a to díky manipulaci s pohonnými hmotami (Kozubek, 2008).

Vrty s označením MV jsou vystrojeny dvěma pažnicemi. Jednou, která komunikuje s horní zvodní, která je tvořena kvartérními náplavami, a druhou, která komunikuje se zvodní spodní tvořenou zónou zvětralinového pláště. Na lokalitě se také nachází vrt centrální CV2, který slouží k recirkulaci vody. Vrt CV1 propojuje horní i spodní zvoď. Vyhroubené vrty se nacházejí od povrchového toku řeky Labe přibližně do 620 metrů. Detaily o lokalizaci jednotlivých vrtů jsou zobrazeny na obrázku 10. Základní informace o vrtech jsou uvedeny v tabulce 4.



**Obrázek 10:** Lokalizace průzkumných vrtů CV1, CV2 a MV1-3 v bývalém distribučním skladu pohonných hmot firmy Benzina s.r.o. v Hradci Králové části Pražské Předměstí, podklad topomapa ArcGIS (Esri, 2015).

**Tabulka 4:** Základní informace o vrtech CV1, MV1 - 3 na lokalitě Hradec Králové. K vrtům komunikujícím s horní zvodní se přidává písmeno H a vrtům komunikujícím se zvodní spodní se přidává písmeno S. U vrtu CV1 je hloubka vyjádřena hloubkou umístění pakru. HPV byla měřena 30. 4. 2014.

Vrt	Plná pažnice od - do (m p. t.)	Perforovaná pažnice od - do (m p. t.)	Výška kalníku od - do (m p.t.)	HPV (m p. t.)	Hloubka (m p. t.)	Odměrný bod nad terénem (m)
CV1H	0 – 2,0	2,0 – 6,3	-	3,21	6,3	0,74
MV1S	0 – 8,0	8,0 – 11,9	11,9 – 12,4	3,23	12,58	0,65
MV1H	0 – 2,0	2,0 – 5,5	5,5 – 6,0	3,22	6,44	0,65
MV2S	0 – 8,0	8,0 – 13,3	13,3 – 13,8	3,27	13,86	0,58
MV2H	0 – 2,0	2,0 – 5,8	5,8 – 6,3	3,26	6,51	0,58
MV3S	0 – 8,0	8,0 – 11,4	11,4 – 11,9	3,27	12,29	0,67
MV3H	0 – 2,0	2,0 – 5,6	5,6 – 6,1	3,28	6,26	0,67

Z dostupné geologické dokumentace vrtů (Kukačka, osobní sdělení) z oblasti Hradec Králové jsem generalizovala litologii horninového prostředí na lokalitě do následujících vrstev.

Z geologického hlediska je povrch terénu v zájmovém území tvořen jílovito – písčitými navážkami o mocnosti 0 – 0,8 m. Pod navážkami byla zastižena jílovito – písčitá frakce s příměsí šterku v hloubce 0,8 – 6,0 m odpovídající kvartérním náplavům. Pod ním se nachází jílovité eluvium s písčitými vložkami odpovídající svrchní křídě.

Úroveň hladiny podzemní vody v zájmové lokalitě ve vrtech CV1 a CV2 se nachází v úrovni 228,8 m n. m., 3,2 m p. t. Detailní informace k jednotlivým úrovním hladin podzemní vody znázorňuje tabulka 5.

**Tabulka 5:** Úrovně hladin podzemní vody ve vrtech měřené dne 9. 5. 2014 (souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Bpv).

Označení vrtu	HPV (m p. t.)	souřadnice Z (m n. m.)	úroveň HPV (m n. m.)
CV1	3,15	231,98	228,83
CV2	3,15	231,93	228,78

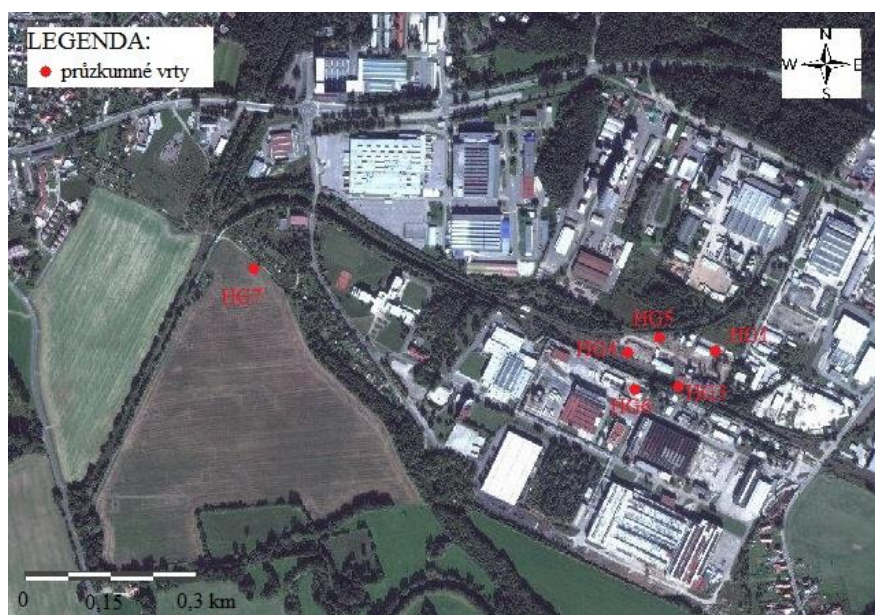
### 3. 1. 3. Černá za Bory

Zájmová lokalita Černá za Bory se nachází v Pardubickém kraji na východě Čech v jihovýchodní části města Pardubice a přibližně 25 km jižním směrem od Hradce Králové. Hlavním tokem v zájmové oblasti je řeka Labe s levostranným přítokem řeky Chrudimky.

Z klimatického hlediska zájmová oblast náleží do teplé oblasti (W2). Průměrný úhrn srážek v oblasti je 500 - 550 mm a průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 8 – 9 °C (Tolasz et al., 2007). Zájmová lokalita se z regionálně geologického hlediska nachází na území České křídové pánve v Labské oblasti. Předkvartérní podloží je charakterizováno sedimenty svrchní křídý, kde se vyskytují pískovce cenomanského stáří, slínovce turonského stáří a vápnité jílovce turonského stáří. Kvartérní sedimenty (písky, štěrky a štěrkopísky) jsou tvořeny převážně fluvialními sedimenty řeky Labe a Chrudimky (Burda et al., 1993).

Zájmová oblast spadá do hydrogeologického rajónu 4310 – Chrudimská křída (ČHMÚ, 2015). Podle Krásného et al. (2012) spadá zájmová oblast do Novobydžovského zvodnělého systému. Podle Herčíka et al. (2003) je území tvořeno bilančním celkem bc5 – Chrudimská křída. Podzemní voda v křídových sedimentech je vázaná na cenomanské souvrství. Hydrogeologický kolektor je tvořen sedimenty perucko-korycanského souvrství (kolektor A) s převážně napjatou hladinou podzemní vody a puklinově – průlinovou porozitou (Herčík et al., 2003). Hydrogeologický izolátor je pak tvořen slínovci mladších křídových souvrství (Krásný et al., 2012).

Terénní měření metody označené kapaliny se uskutečnily na vrtech s označením HG1, HG3 - 7 v průmyslovém areálu mazutového hospodářství v jihovýchodním okraji Pardubic - Černá za Bory. Západně od průmyslového areálu se nachází intravilán města Pardubice, zbytek okolí tvoří východním směrem zemědělsky obdělávaná krajina. Podzemní vody, které odtékají z prostoru průmyslového areálu, ohrožují individuální zdroje zásobování pitnou a užitkovou vodou. Podzemní vody jsou především kontaminovány látkami BTEX (souhrnný název pro kontaminanty benzen, toluen, ethylbenzen a xylen), chlorovanými uhlovodíky (CIU) a nepolárními extrahovatelnými látkami (NEL) (Veleba, 2015). Vrtly byly vyvrtány v roce 2015 za účelem hydrogeologického průzkumu. Vyhlobené vrtly se nacházejí od povrchového toku řeky Chrudimky přibližně do 800 metrů. Detaily o lokalizaci jednotlivých vrtů jsou zobrazeny na obrázku 11. Základní informace o vrtech jsou uvedeny v tabulce 6.



**Obrázek 11:** Lokalizace průzkumných vrtů HG1, HG3-7, podklad topomapa ArcGIS (Esri, 2015).

**Tabulka 6:** Základní informace o vrtech HG1, HG3 – 7 na lokalitě Černá za Bory.

Vrt	Plná pažnice od – do (m p. t.)	Perforovaná pažnice od - do (m p. t.)	Výška kalníku od – do (m p. t.)	HPV (m p. t.)	Hloubka (m p. t.)	Odměrný bod nad terénem (m)
HG1	0 – 3,5	3,5 – 8,6	8,6 – 9,1	5,28	9,25	-
HG3	0 – 3,0	3,0 – 8,5	8,5 – 9,0	5,95	9,32	-
HG4	0 – 3,0	3,0 - 8,5	8,5 – 9,0	5,77	9,30	0,7
HG5	0 – 3,5	3,5 – 9,0	9,0 – 9,5	6,16	9,70	0,6
HG6	0 – 3,0	3,0 – 9,0	9,0 – 9,5	7,87	9,60	-
HG7	0 – 2,5	2,5 – 8,0	8,0 – 8,5	4,44	8,80	0,6

Z dostupné geologické dokumentace vrtů (Veleba, osobní sdělení) z oblasti Černá za Bory jsem generalizovala litologii horninového prostředí na lokalitě do následujících vrstev.

Z geologického hlediska je povrch terénu v zájmovém území tvořen navážkami a prachovitou hlínou o mocnosti 0 – 1,0 m. Navážky ubývají na mocnosti směrem k vrtu HG7. Pod navážkami byly zastiženy jemnězrnné a střednězrnné písky s příměsí šterku, které také ubývají na mocnosti směrem k vrtu HG7 z 6,0 – 1,0 m. Pod písky byla zastižena vrstva písčitého jílu, jehož mocnost nabývá směrem k vrtu HG7. Pod jíly se nachází šterk písčité

s valouny do 10 - 15 cm v hloubce 6,5 až 8,0 m odpovídající kvartérním náplavům. V hloubce 8,0 až 9,7 m byly zastiženy zvětralé slínovce odpovídající křídovým sedimentům.

Hladina podzemní vody ve vrtech HG1, HG3 se nachází v 228 m n. m tj. 5,9 m pod terénem. Ve vrtu HG7 je úroveň hladiny podzemní vody v 220,62 m n. m, tj. 4,4 m pod terénem (Tabulka 7).

**Tabulka 7:** Úrovně hladin podzemní vody ve vrtech měřené v období 17. – 20. 8. 2015 (souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Bpv).

Označení vrtu	HPV (m p. t.)	souřadnice Z (m n. m.)	úroveň HPV (m n. m.)
<b>HG1</b>	5,28	233,26	227,98
<b>HG3</b>	5,95	234,01	228,06
<b>HG4</b>	5,77	233,65	227,88
<b>HG5</b>	6,16	233,98	227,82
<b>HG6</b>	7,87	236,06	228,19
<b>HG7</b>	4,44	224,46	220,02

### 3. 1. 3. Lanškroun

Zájmová lokalita Lanškroun se nachází v Pardubickém kraji na východě Čech přibližně 70 km východním směrem od Pardubic. Leží v údolí řeky Moravská Sázava a protéká jím pravostranný přítok řeky Moravská Sázava - Ostrovský potok. V blízkosti lokality se nacházejí i dva rybníky – Dlouhý a Krátký rybník.

Z klimatického hlediska zájmová oblast náleží do mírně teplé oblasti (MW7). Průměrný úhrn srážek v oblasti je 650 – 700 mm a průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 7 – 8 °C (Tolasz et al., 2007). Zájmová lokalita se z regionálně geologického hlediska nachází na východním okraji České křídové pánve v Orlicko–žďárské oblasti. Předkvartérní podloží je charakterizováno sedimentárními horninami svrchní křídý (pískovce cenomanského stáří, slínovce turonského stáří a vápnitými jílovci conianského stáří). Kvartérní sedimenty jsou tvořeny převážně fluvialními sedimenty řeky Moravská Sázava (písky, štěrky a nivní hlína) (Chlupáč et al., 2011).

Zájmová oblast spadá do hydrogeologického rajónu 4262 – Kyšperská synklinála – jižní část (ČHMÚ, 2015). Podle Krásného et al. (2012) a Herčíka et al. (2003) spadá zájmová oblast do



Kyšperského zvodnělého systému a je tvořena bilančním celkem bc8. Podzemní voda v křídových sedimentech je vázaná na cenomanské souvrství a turonske souvrství. V cenomanu je hydrogeologický kolektor tvořen sedimenty perucko-korycanského souvrství (kolektor A) a není vodohospodářsky významný. V tuřonu se nacházejí kolektory B a C. Kolektor B je vázán na bělohorské souvrství, kolektor C na jizerské souvrství. V oblasti mezi Lanškrounem a Jablonným nad Orlicí se nachází významná hydrogeologická bariéra, která je tvořena miocenní jílovitou výplní pohřbeného údolí (Krásný et al., 2012). Kolektor C má volnou hladinu podzemní vody a puklinovou porozitu (Herčík et al., 2003).

Terénní měření metody označené kapaliny se uskutečnily na vrtu s označením HV 201 v průmyslovém areálu firmy ALEMA Lanškroun a.s. na jihozápadním okraji města Lanškroun v části Ostrovské předměstí. Západně od průmyslové zóny se nachází zemědělsky obdělávaná krajina, východním a severním směrem se pak nachází intravilán města Lanškroun. Firma ALEMA Lanškroun a.s. se zabývá nástrojářskou výrobou, lisováním kovů a výrobou plastových dílů. Podzemní voda je v zájmové lokalitě masivně kontaminována chlorovanými uhlovodíky (CIU) (SEKM, 2016). Vrt HV 201 byl vyvrtán k sanačním účelům v roce 2014 pro firmu ALEMA Lanškroun. Vyhloubený vrt se nachází severozápadním směrem od soustavy sedmi Lanškrounských rybníků, z kterých vytéká Ostrovský potok přibližně do 400 metrů od vyhloubeného vrtu. Detaily o lokalizaci vrtu jsou zobrazeny na obrázku 12. Základní informace o vrtu jsou uvedeny v tabulce 8.



**Obrázek 12:** Lokalizace sanačního vrtu HV201, podklad topomapa ArcGIS (Esri, 2015).



**Tabulka 8:** Základní informace o vrtu HV201 na lokalitě Lanškroun. HPV byla na lokalitě měřena dne 23. 7. 2014.

Vrt	Plná pažnice od – do (m p. t.)	Perforovaná pažnice od – do (m p. t.)	Výška kalníku od - do (m p. t.)	HPV (m p. t.)	Hloubka (m p. t.)	Odměrný bod nad terénem (m)
<b>HV201</b>	0 – 12,0	12,0 – 19,0	19,0 – 19,5	10,54	19,75	-

Z dostupné geologické dokumentace vrtu (Dosoudil, 2014) z oblasti Lanškroun jsem generalizovala litologii horninového prostředí na lokalitě do následujících vrstev.

Z geologického hlediska je povrch terénu v zájmovém území tvořen navážkami a škvárovou hlínou o mocnosti do 1 m. Pod navážkami byla zastížena hlína jílovitá a písčitá v hloubce 1,0 – 3,5 m. Tyto sedimenty odpovídají kvartéru. Níže následuje v hloubce 3,5 – 8,5 m mocnější vrstva jílu, která náleží ze stratigrafického hlediska do neogénu. Od hloubky 8,5 m až do končené hloubky 20 m byly zastíženy křídové horniny bělohorského souvrství (silně zvětralý prachovec).

Úroveň hladiny podzemní vody v zájmové lokalitě Lanškroun ve vrtu HV 201 se nachází v úrovni 376,57 m n. m., tj. 10,54 m p. t.. Detailní informace k úrovni hladiny podzemní vody znázorňuje tabulka 9.

**Tabulka 9:** Úroveň hladiny podzemní vody ve vrtu měřená dne 23. 7. 2014 (souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Bpv).

Označení vrtu	HPV (m p. t.)	souřadnice Z (m n. m.)	úroveň HPV (m n. m.)
<b>HV 201</b>	10,54	387,11	376,57

## 4. Metodika práce

Provedené práce, uskutečněné v rámci diplomové práce, lze rozdělit na část laboratorní a část terénní. Součástí laboratorních prací bylo zjištění míry míšení stopovače díky pohybu sondy v průběhu měření a snaha o snížení míšení pomocí fluorescentních látek, průhledné pažnice a úpravy geometrie sondy. V rámci terénních prací jsem se zaměřila na ověření samočinných konduktometrických sond s datalogery ke sledování pohybu kapaliny ve skutečných vrtech.

Měření probíhala na čtyřech lokalitách a byla zaměřena na metodu ředění označené kapaliny, měření s použitím stabilně umístěných čidel a měření s použitím upravené geometrie čidla.

#### **4. 1. Použité přístroje**

V rámci terénních prací, které zahrnovaly metodu ředění označené kapaliny a stopovací zkoušky, jsem pro měření hloubky pod hladinou vody, teploty a konduktivity ve skutečných vrtech aplikovala samočinné konduktometrické čidlo LTC Levelogger Junior od firmy Solinst (Kanada), dále jen čidlo LTC. Čidlo LTC je vybaveno dataloggerem, tlakovým, teplotním a vodivostním čidlem. Ve vodotěsném pouzdře se také nachází baterie s životností pět let. Nastavení důležitých parametrů pro měření a stáhnutí naměřených dat probíhá přes datový kabel v programu Levelogger 4.0.3. Nastavit lze například interval, ve kterém je čidlo LTC schopno měřit data. Interval se pohybuje od 5 sekund až po 99 hodin. Vysoká kapacita paměti je schopna uschovat až 16 000 sad měření. Přesnost měření konduktivity je 2 % a tlaku 0,05 – 0,1 % (Solinst, 2016). Čidlo LTC jsem měla připevněné na lanku s vyznačenými hloubkovými značkami. Dále jsem u všech měření využívala barometrické čidlo Barologger 3001 od firmy Solinst (Kanada), který snímá aktuální atmosférický tlak, který je nutný ke kompenzaci dat hladin podzemních vod v průběhu měření. Kolísání hladiny podzemní vody (mocnost vodního sloupce nad čidlem) byla získána odečtem tlaku měřeného čidly ve vrtech od tlaku měřeného barometrickým čidlem. Čidlo bylo zavěšeno na stinném místě v blízkosti vrtů.

V průběhu měření na vrtu HG6 v Pardubicích jsem kontrolovala průběžně elektrickou vodivost vodního sloupce ve vrtu konduktometrem Cond 340i (firma WTW Německo), dále jen konduktometr WTW. Průběžná elektrická vodivost byla kontrolována pouze z informativního hlediska o rychlosti ředění použitého stopovače pouze na jednom vrtu a to z důvodu malého hloubkového dosahu kabelu konduktometru WTW. Přesnost měření teploty je okolo 0,1°C a u konduktivity 1 %. Naměřená hodnota se automaticky převede na jednotnou srovnávací teplotu 25 °C (Maneko, 2016).



**Obrázek 13:** Konduktometr Cond 340i od firmy WTW (Maneko, 2016), čidlo LTC Levelogger a barometrické čidlo Barologger 3001 od firmy Solinst (Solinst, 2016).

#### **4. 2. Zvýšení mineralizace vody ve vrtu**

Ke zvýšení mineralizace vody ve vrtech jsem použila kuchyňskou sůl ( $\text{NaCl}$ ). Množství soli, které bylo použito ve vrtech, se lišilo podle jednotlivých parametrů zkoumaných vrtů. Kuchyňskou sůl jsem umístila do dvou vrstev nylonových punčoch, aby docházelo k rozpouštění soli průběžně a v celém profilu vodního sloupce. Takto připravenou sůl jsem vložila do vyrobené solničky z PVC materiálu nebo do ocelové solničky vypůjčené od Ondřeje Jägra. Se solničkou jsem pak pohybovala vrtem směrem dolů a nahoru přes celý zatopený úsek vrtu, dokud se sůl nerozpustila. Doba trvání zasolování vrtu se pro jednotlivé vrty lišila a obvykle trvala mezi 10 a 30 minut.



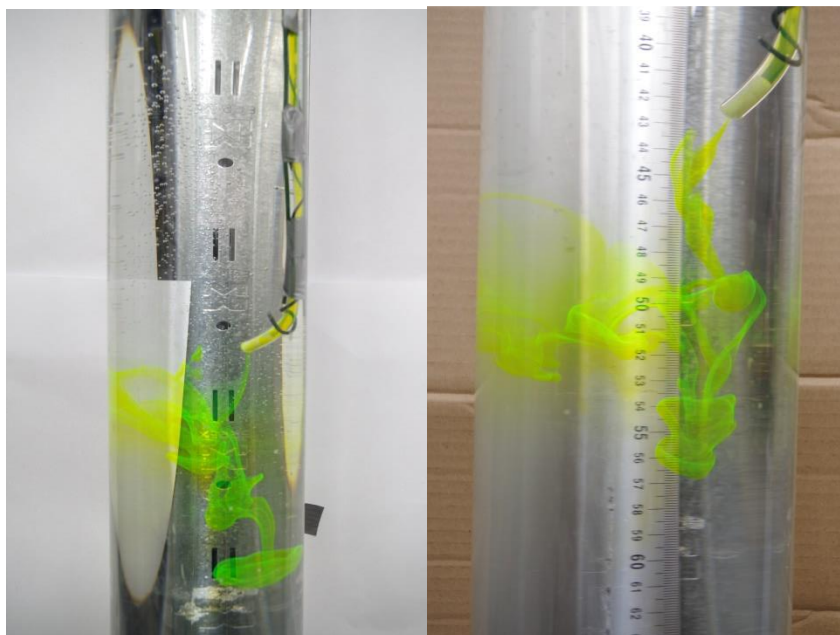
**Obrázek 14:** Použité solničky pro zasolení vrtů v rámci jednotlivých měření (foto autorka a Petr Veleba).

### 4. 3. Laboratorní práce

Laboratorní práce probíhaly v laboratoři Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze, kde jsem měla umístěnou průhlednou plexisklovou trubku simulující vrt (viz fotografie obr. 15). Ve vrchní části pažnice bylo umístěno čidlo LTC, které bylo zavěšeno na kladce. V průběhu laboratorních pokusů jsem pracovala s roztokem fluoresceinu, kterým jsem se snažila vytvořit viditelné rozhraní o určité mocnosti umístěné uprostřed vodního sloupce. Do střední části trubky byla vyústěna hadička o vnitřním průměru 0,4 cm ukončená cigaretovým filtrem. Díky filtru jsem zbrzdila přitékající obarvenou vodu natolik, že se podařilo vytvořit hloubkově omezenou kontinuální oblast obarvené vody, a tedy viditelné rozhraní mezi vodou a roztokem fluoresceinu. Roztok fluoresceinu byl do hadičky vpravován injekční jehlou a vytlačován přes filtr do průhledné trubky (viz fotografie obr. 16).



**Obrázek 15:** Průhledná plastová pažnice umístěná v laboratoři Přírodovědecké fakulty v Praze simulující vrt se zavěšeným samočinným LTC čidlem (foto autorka).



**Obrázek 16:** Vytlačování fluoresceinu přes cigaretový filtr do průhledné pažnice (foto autorka).

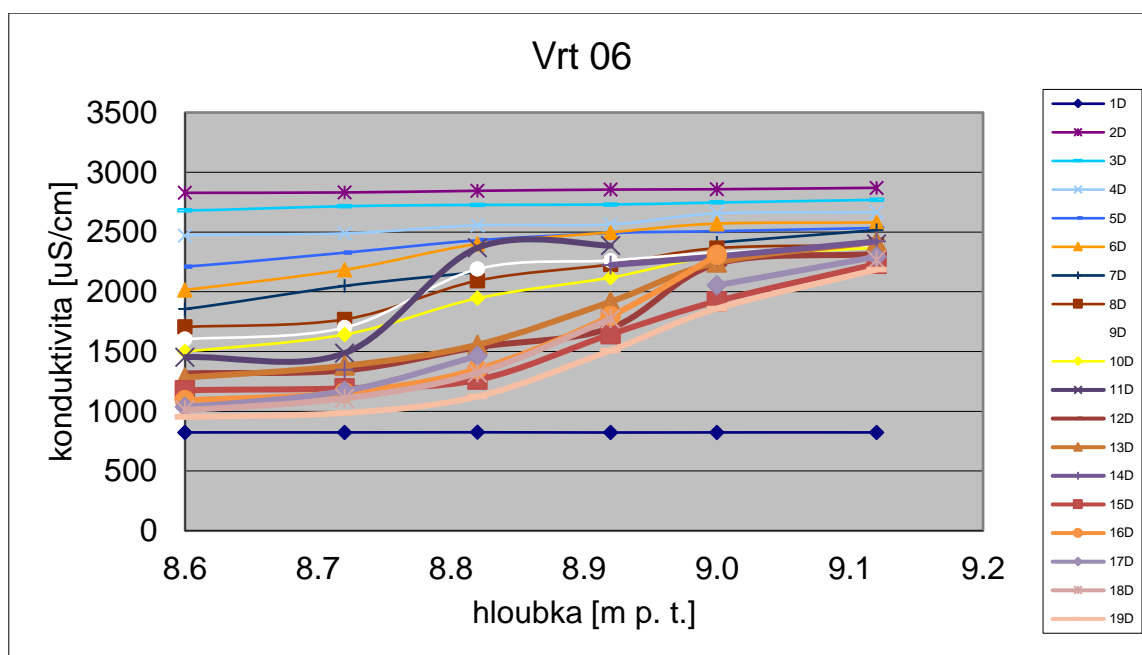
#### **4. 3. 1. Míra míšení roztoku fluoresceinu**

Pomocí fluoresceinu a průhledné trubky jsem se snažila charakterizovat míru míšení roztoku fluoresceinu, ke kterému dochází díky pohybu čidla v průběhu měření. Nejprve jsem injektovala dostatečné množství roztoku fluoresceinu, pro vytvoření kontinuální značky ve střední části pažnice. LTC čidlem zavěšeným na kladce jsem následně pohybovala směrem nahoru i dolů s krokem 0,10 m a s intervalem 5 sekund. Druhý pokus probíhal stejně, jediným rozdílem zde bylo, že jsem zalepila izolační páskou měřicí štěrbinu, ve které se nacházejí měřicí elektrody. Důvodem bylo zjištění, zda právě měřicí štěrbina nezpůsobuje vytahování roztoku fluoresceinu podél čidla v průběhu měření. Pokusy byly natočeny na fotoaparát ve formě videonahrávky a následně byla z natočených záznamů vytvořena sekvence snímků, které zachycují celý průběh pokusů.

#### **4. 3. 2. Změna geometrie LTC čidla**

Další možností, proč jsou některé naměřené průběhy konduktivity odlišné od ostatních (obr. 17), může být díky špatnému vymytí stopovače z měřicí štěrby.





**Obrázek 17:** Na vrtu V06 z oblasti Káraný je patrné, že poslední půlmetr tvořený kalníkem vykazuje pomalé ředění a je také viditelný posun rozhraní u linie 11D.

Problém s míšením stopovače by mohl být způsoben díky špatnému vymytí stopovače z měřicí štěrby. Proto jsem se snažila upravit sondu tak, aby docházelo ke zlepšení vymývání vody z měřicí štěrby. Úprava sondy spočívala v úpravě geometrie sondy v oblasti měřicí štěrby. Inspirací při změně geometrie tvaru čidla v okolí měřicí štěrby mi byl nasávací otvor u motorů letadel. Vytvořila jsem tedy okolo štěrby náběhovou a výběhovou hranu tak, aby při pohybu dolů náběhová strana vodu nasávala a vypouštěla na druhé straně. Při sestavování ideální geometrie náběhové hrany jsem byla tlačena dvěma protichůdnými faktory. Prvním faktorem bylo vytvořit dostatečně velký náběhový otvor, aby během pohybu čidla docházelo k vtlačování vody a průtoku měřicí štěrbinou. Druhým faktorem pak bylo víření vody okolo čidla. K tomu, aby nedocházelo k velkému víření vody okolo čidla, strhávání vody čidlem a míšení, potřebujeme naopak co nejmenší náběhový otvor. Nakonec jsem tedy vytvořila náběhovou hranu, která má nejvyšší bod zakulacené náběhové hrany vysoký 0,9 cm a dlouhý 1,5 cm. Geometrie použité náběhové a výběhové hrany je zobrazena na obrázku 18.

Samotný pokus probíhal tak, že jsem nejprve vytvořila barevnou značku roztoku fluoresceinu. Následně jsem LTC čidlem zavěšeným na kladce pohybovala směrem nahoru i dolů s krokem 0,10 m a s intervalem 5 sekund. Pokus byl natočený na fotoaparát a následně z natočených záznamů byla vytvořena sekvence snímků, které zachycují celý průběh pokusu. Takto

upravená sonda byla ověřena na skutečných vrtech a získané záznamy z měření s upravenou sondou byly porovnány se záznamy z měření bez upravené sondy.



**Obrázek 18:** Náběhová a výběhová hrana okolo měřicí štěrbině čidla (foto autorka).

#### **4. 3. 3. Ověření vymývání stopovače**

K ověření vymývání stopovače z měřicí štěrbiny upraveného LTC čidla jsem použila roztok soli s fluoresceinem. Množství soli, které se mělo smíchat s fluoresceinem, nesmělo přesáhnout koncentraci přibližně 2 g/l, aby nedošlo k poklesu fluoresceinové značky ke dnu umělé pažnice simulující vrt. Zároveň však bylo podmínkou přidat takové množství roztoku, aby se projevilo zvýšení konduktivity od pozadových hodnot naměřených pomocí LTC čidla. Smíchala jsem tedy 0,5 l vody s cca 3 g fluoresceinu a 0,8 g NaCl. Celkově jsem injektovala do umělé pažnice 75 ml roztoku fluoresceinu se solí. Při nižších hodnotách objemu vtlačeného roztoku fluoresceinu se nijak výrazně neprojevilo zvýšení konduktivity.

Samotný pokus probíhal tak, že jsem nejprve vytvořila barevnou značku roztoku fluoresceinu. Pro lepší srovnání vymývání roztoku fluoresceinu jsem měřila zároveň s LTC čidlem, které mělo upravenou geometrii a zároveň s čidlem bez úpravy (Obrázek 19). Obě tato LTC čidla jsem měla zavěšené na kladce a pohybovala jsem s nimi směrem nahoru i dolů s krokem 0,10



m a s intervalem 5 sekund. V průběhu měření byly LTC čidla zapnuta a měřily konduktivitu vody v trubce simulující umělý vrt.



**Obrázek 19:** Ověřování vymývání stopovače pomocí dvou LTC čidel souběžně. Jedno LTC čidlo má upravenou geometrii tvaru okolo měřící šterbiny (foto autorka).

## 4. 4. Terénní měření

### 4. 4. 1. Postup měření

Na lokalitách Káraný, Hradec Králové, Černá za Bory a Lanškroun byla realizována na vybraných vrtech metoda ředění označené kapaliny za přirozeného proudění. V Lanškrouně se také uskutečnilo na stejném vrtu měření za vynucených podmínek (čerpání). Na lokalitách Káraný, Hradec Králové a Černá za Bory se také uskutečnilo měření s využitím stabilních čidel ve vrtu. V rámci terénních prací bylo navíc zrealizováno ověření čidla s upravenou geometrií okolo měřící šterbiny, a to na vybraných vrtech na lokalitě Káraný.

Klasická metoda ředění označené kapaliny s pohyblivým čidlem s upravenou a bez upravené geometrie čidla se uskutečnila tak, že nejprve byly ve vrtech změřeny pozadové koncentrace konduktivity a následně byly vrty zasoleny. Po zasolení následoval záznam měření proudění vody pomocí LTC čidel. Čidla byla nastavena na měření v intervalu 5 sekund s krokem 0,10 m.

Měření na stabilních bodech probíhala tak, že konduktivita ve vrtu nebyla měřena pomocí pohyblivého se čidla jako v předešlých případech, ale pomocí čidel, které byly situovány ve stabilní pozici v určité hloubce (až 10 čidel a tedy i hloubkových úrovní zároveň). Výhodou tohoto způsobu měření je, že nedochází k žádnému pohybu čidel ve vrtu, během kterého by mohlo dojít k uměle vyvolanému míšení a ředění stopovače. Využitím této metody tak dostaneme výsledky poklesu koncentrace rozpuštěné soli, které jsou způsobené ředěním přirozeného proudění podzemní vody ve vrtu. Nevýhodou této metody je, že v měřicích štěrbinách se solný roztok může vymývat pomaleji než ze samotného vrtu, což může vést podcenění rychlosti proudění. Jednotlivá čidla byla zavěšena v jednotné hloubkové úrovni vypočítané podle hloubky vrtu a byla nastavena v intervalu měření 1 minuta. Měření bylo většinou ukončeno po 10 až 15 hodinách.

### Káraný

Na lokalitě Káraný mi s měřením klasické metody ředění označené kapaliny na vrtech pomáhali kolegové ze školy Jan Soukup, Magdaléna Rybářová, František Balák a Alena Vacková. Měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu a měření s upravenou geometrií sondy probíhalo v rámci hydrogeologického kurzu, kde se jednotlivých měření aktivně účastnili i studenti.



**Obrázek 20:** Metoda ředění označené kapaliny probíhající na lokalitě Káraný. S měřením mi pomáhali kolegové ze školy jako například na obrázku Jan Soukup (foto autorka).

## Hradec Králové

Na lokalitě Hradec Králové mi s měřením klasické metody ředění označené kapaliny s pohyblivým LTC čidlem na vrtech pomáhali kolegové ze školy František Balák, Alena Vacková a Martin Krupička. V průběhu měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu byla na centrálním vrtu CV2 recirkulována voda s intenzitou 300 l/hod.



**Obrázek 21:** Metoda ředění označené kapaliny probíhající na lokalitě Hradec Králové (foto autorka).





**Obrázek 22:** Čidla připevněná na lanku ve vertikálních konstantních rozestupech na lokalitě Černá za Bory (foto autorka a Petr Veleba).



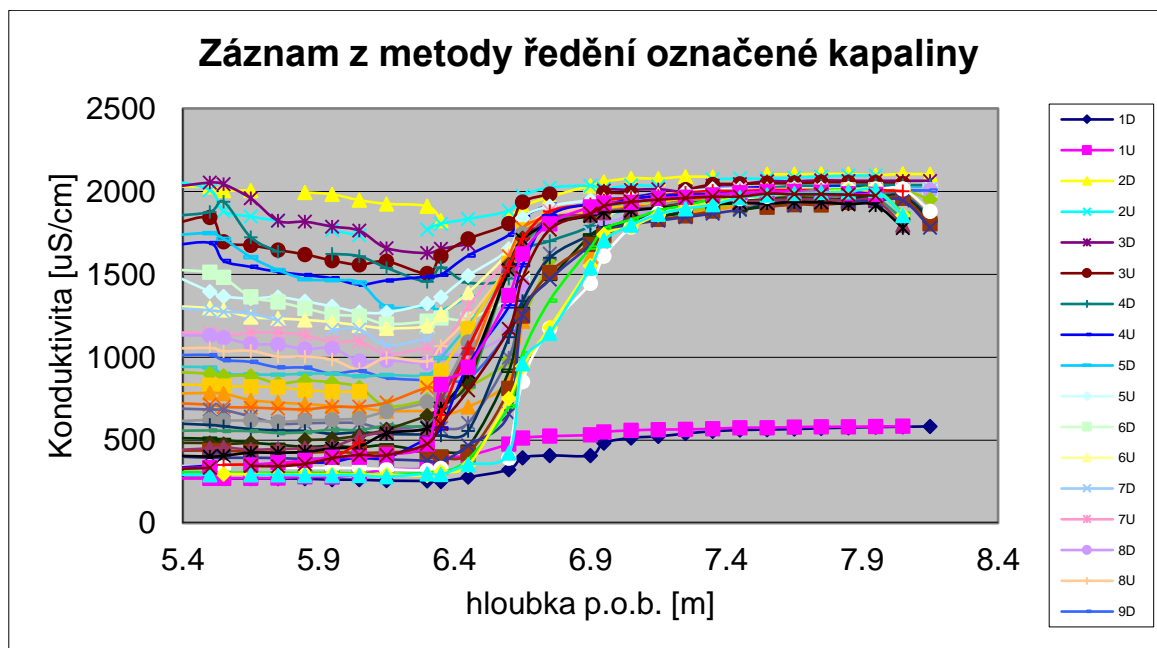
**Obrázek 23:** Průběh měření metody ředění označené kapaliny se stabilně umístěnými čidly ve vrtu a současné měření s pohyblivým LTC čidlem na lokalitě Černá za Bory (foto autorka a Petr Veleba).

### Lanškroun

Během měření za čerpání bylo použito čerpadlo Gigant. Čerpadlo bylo umístěno v hloubce 15 m pod terénem a čerpalo se rychlostí 0,014 l/s. Při této rychlosti čerpání se původní hladina v hloubce 10,54 m pod terénem po 30 minutách ustálila v hloubce 10,68 m pod terénem.

#### 4. 4. 2. Zpracování dat

Data, která jsem naměřila LTC čidlem, jsem si stáhla do počítače pomocí programu Levellogger 4.0.3. Stáhnutá data jsem si uložila do formy, která je kompatibilní s programem MS Excel. V programu MS Excel jsem si data upravila tak, že jsem je rozdělila na příslušná měření a označila si směr pohybu LTC čidla. Z takto upravených dat jsem si vytvořila záznam z metody ředění označené kapaliny (Obrázek 24). Pohyb LTC čidlem směrem dolů je v grafu popsán písmen D a pohyb směrem nahoru písmenem U. Podle Lukeše (1974) se záznamy při spuštění sondy do vrtu považují za prioritní a záznamy při vytahování sondy pouze za kontrolní, a proto budou v jednotlivých grafech zobrazeny pouze záznamy při pohybu čidla směrem dolů. Záznam s označením 1D a 1U znázorňují měření bez aplikace soli (přírodní pozadřové hodnoty).



**Obrázek 24:** Hodnoty naměřené LTC čidlem (21. 3. 2014), 1D a 1U – záznam hodnot bez aplikace soli, 2 – 9DU – záznam hodnot po aplikaci soli.

Z takto přichystaných dat jsem si pak vybrala určité hloubkové úrovně, ze kterých byly nejprve odečteny pozadřové hodnoty koncentrace stopovače a následně vypočítány průtoky a rychlosti proudění daným úsekem vrtu. Hloubkové úseky, u kterých jsem interpretovala rychlost proudění a průtok, jsem vybírala tak, abych pravidelně pokryla různé chování podzemní vody ve vrtu v celém vodním sloupci. Tyto úseky jsem vybírala z grafu znázorňující vztah hloubky vrtu a konduktivity, na kterém je vidět, v kterých hloubkových

úsecích dochází buď k podobnému nebo různému ředění stopovače (Obrázek 24). Průtok byl vypočítán jako podíl objemu vodního sloupce a střední doby zdržení. Střední dobu zdržení lze formulovat jako poměr objemu rezervoáru k průtoku rezervoárem. Pro výpočet střední doby zdržení jsem využila exponenciální model.

Exponenciální model je považován za nejpoužívanější model v hydrologii a jeho předpokladem je exponenciální rozdělení dob zdržení a pokles koncentrace v čase. Výpočet pak probíhá podle rovnice (5):

$$C(t) = C(t_0) * e^{(-t/SDZ)} \quad (5)$$

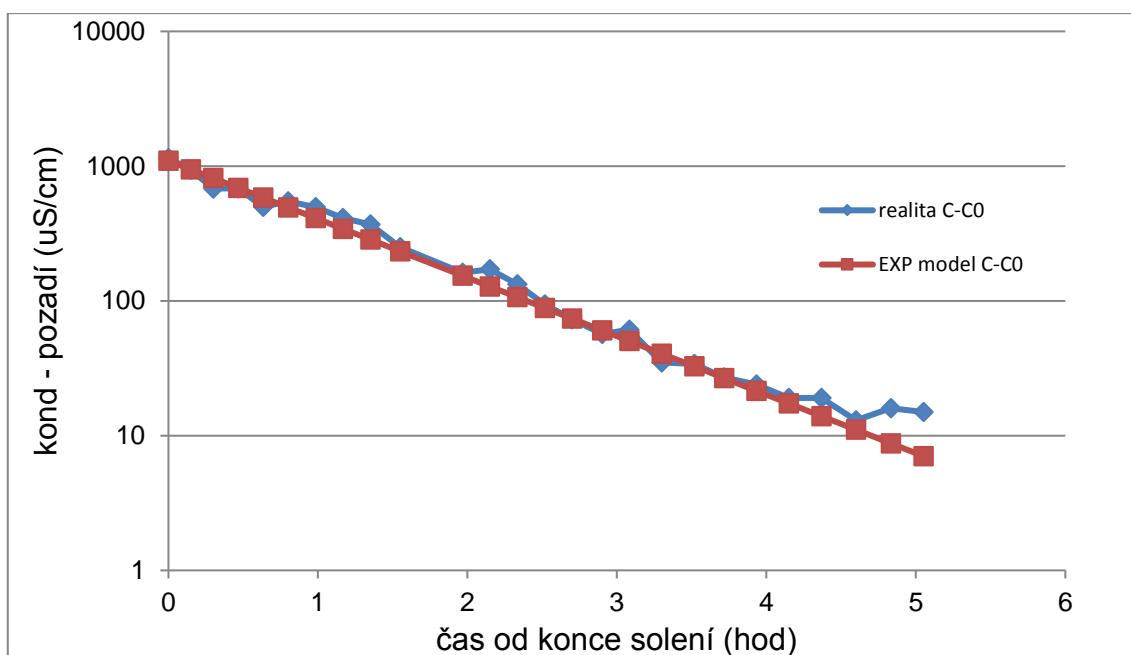
kde  $C(t)$  je koncentrace v čase [mg/l], resp. v této práci konduktivita,

$C(t_0)$  je koncentrace těsně po zasolení vrtu [mg/l], resp. v této práci konduktivita,

$e$  je základ přirozeného logaritmu,

SDZ je střední doba zdržení [min].

Na data z exponenciálního modelu jsem pak fitovala svá upravená naměřená data poklesu koncentrace stopovače v čase. Modelovou čáru jsem proložila naměřenými daty tak, že jsem upravovala hodnotu střední doby zdržení. Následně jsem pak ideální shodu mezi modelovou čárou a naměřenými daty stanovila vizuálně. V potaz jsem brala pouze hodnoty koncentrace mezi  $C_{\max}$  a  $0,1 C_{\max}$  (tedy mezi 100% a 10% maximální koncentrace), jelikož při zředění vyšším než na 10%  $C_{\max}$  se již často uplatňují jiné procesy. Na obrázku 25 je ukázka zobrazení dat v exponenciálním modelu.



**Obrázek 25:** Zobrazení naměřených dat z vrtu V01 na lokalitě Káraný v exponenciálním modelu.

Rychlost proudění byla vypočítána jako podíl průtoku a průtočné plochy. Jelikož podzemní voda do vrtu tedy přitéká z větší šířky, než je samotný průměr vrtu, bylo nutné rychlosti upravit pomocí drenážního koeficientu. Rychlost jsem tedy dělila všeobecně akceptovaným drenážním koeficientem 2.

## 5. Vyhodnocení a diskuze výsledků

V této kapitole prezentuji výsledky z laboratorních a terénních měření metody ředění označené kapaliny s pohyblivým LTC čidlem na lokalitách Káraný, Hradec Králové, Lanškroun a Černá za Bory. Dále pak také prezentuji výsledky z měření z lokality Káraný, kdy byla použita metoda ředění označené kapaliny s využitím měřicí LTC sondy, u které byla upravena geometrie měřicí šterbiny. Nakonec se zabývám vyhodnocením metody ředění označené kapaliny za přirozeného proudění s využitím stabilně umístěných čidel ve vrtu na lokalitě Káraný, Černá za Bory a Hradec Králové a porovnáním výsledků s měřením pomocí pohyblivého se čidla.

## **5. 1. Laboratorní měření**

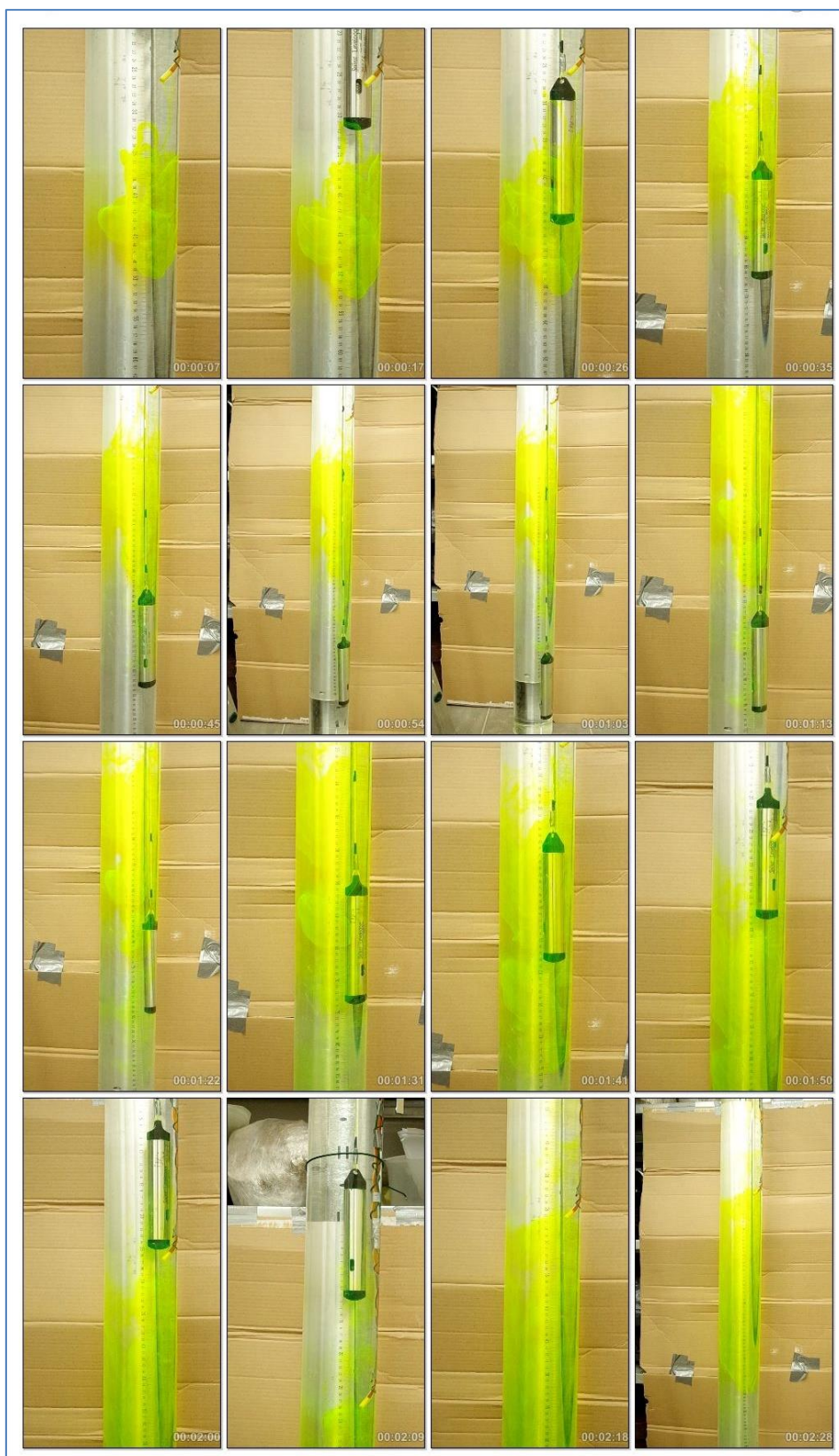
### **5. 1. 1. Míšení roztoku fluoresceinu**

V rámci pokusu jsem vyrobila značku roztoku fluoresceinu (6 g/l) a zabývala jsem se charakterizací míry míšení roztoku fluoresceinu, ke kterému dochází díky pohybu LTC čidla v průběhu měření.

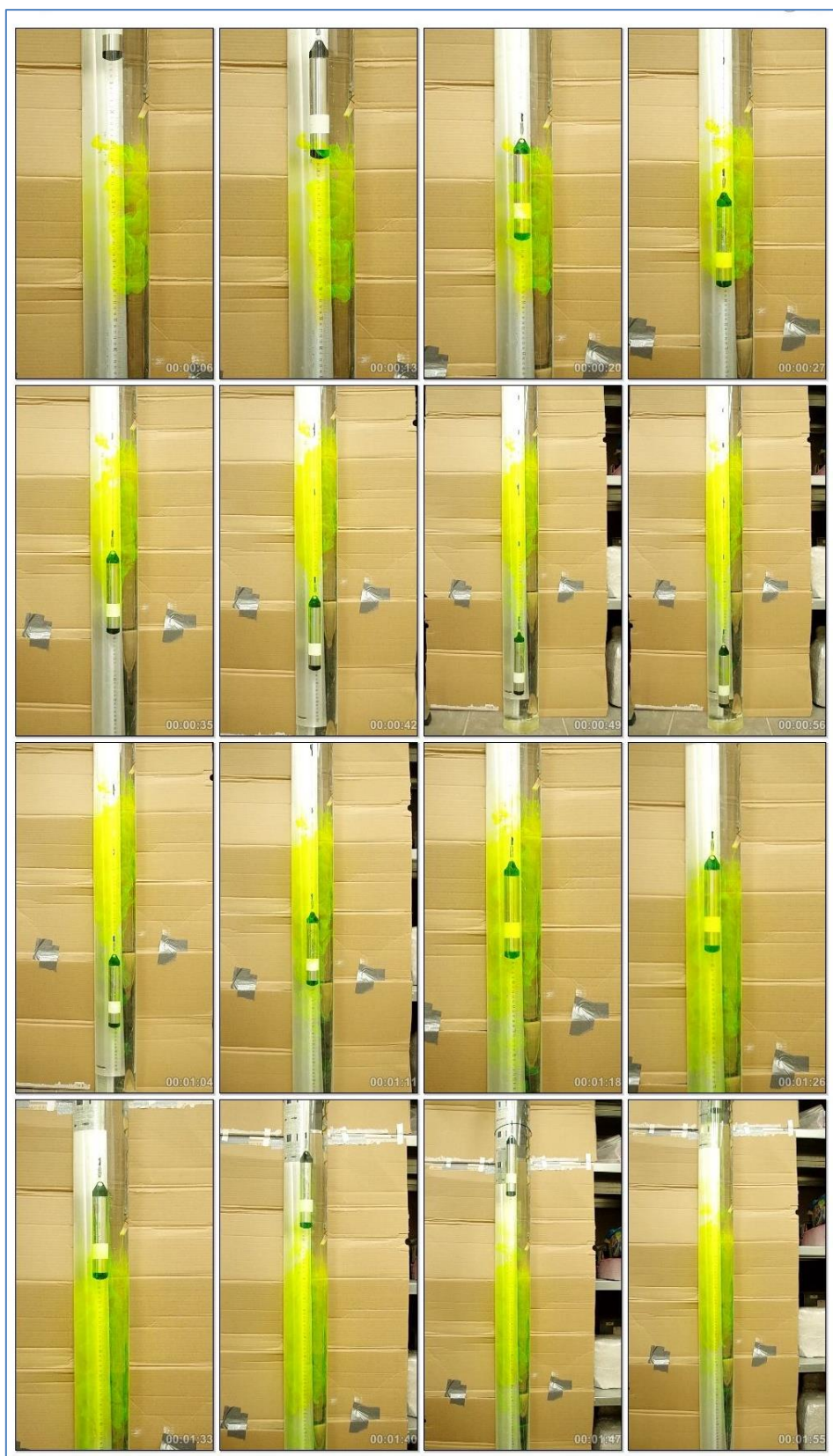
Z videozáznamů, které jsem pořídila v průběhu experimentů, jsem získala výsledky o míře míšení roztoku fluoresceinu. Z dosažených výsledků je jasně patrné, že dochází k rozplavování mraku roztoku fluoresceinu podél osy pohybu čidla jak směrem nahoru, tak dolů. V obou případech byla vytvořena kontinuální značka o přibližné mocnosti 20 cm. Po pohybu LTC čidla skrz fluoresceinovou značku směrem dolů došlo k vytáhnutí tenkého výběžku roztoku fluoresceinu o přibližně 25 cm a při pohybu směrem nahoru taktéž o 25 cm. Tento tenký výběžek roztoku fluoresceinu lze charakterizovat tak, že u něj nedocházelo po chvíli k rozplynutí, ale měl podobnou koncentraci jako původní fluoresceinová značka. Při každém dalším projetí nedocházelo k většímu vytahování, ale vždy byl opět vytáhnut oblak fluoresceinu o přibližné délce 25 cm od rozhraní kontinuální značky. Tyto výsledky také potvrdil experiment se zalepenou měřicí štěrbínou, kde výsledkem bylo také vytáhnutí oblaku fluoresceinu o 25 cm směrem dolů i nahoru od rozhraní kontinuální značky. Celkově se tedy vytvořená značka protáhla o 50 cm, takže měla na konci pokusu mocnost 70 cm. Záznamy ukazující výsledky experimentů jsou na obrázku 26 a 27.

V průběhu pokusů jsem zaznamenala, že roztok fluoresceinu se zachycuje na povrch LTC čidla, což je také patrné na vytvořených videozáznamech. Posun rozhraní roztoku fluoresceinu tedy způsobuje imobilní 1 – 3 mm mocná vrstva na povrchu LTC čidla. Domněnku o tom, že rozmývání stopovače ve vertikálním směru při měření skutečných vrtů je zapříčiněno pohybem LTC čidla, které s sebou strhává stopovač a rozmíchává jej ve vodním sloupci ve vrtu, můžeme vyloučit, a to proto, že posun zjištěný v laboratoři je velmi malý, než u posunu hodnot naměřených v terénu (až 1 m).





**Obrázek 26:** Sekvence snímků z natočeného záznamu během pokusu při pohybu LTC čidla směrem dolů a nahoru skrz fluoresceinovou kontinuální značku. Počátek pokusu začíná prvním snímkem a pokračuje směrem vpravo. (natáčení záznamu Tomáš Mohyla).



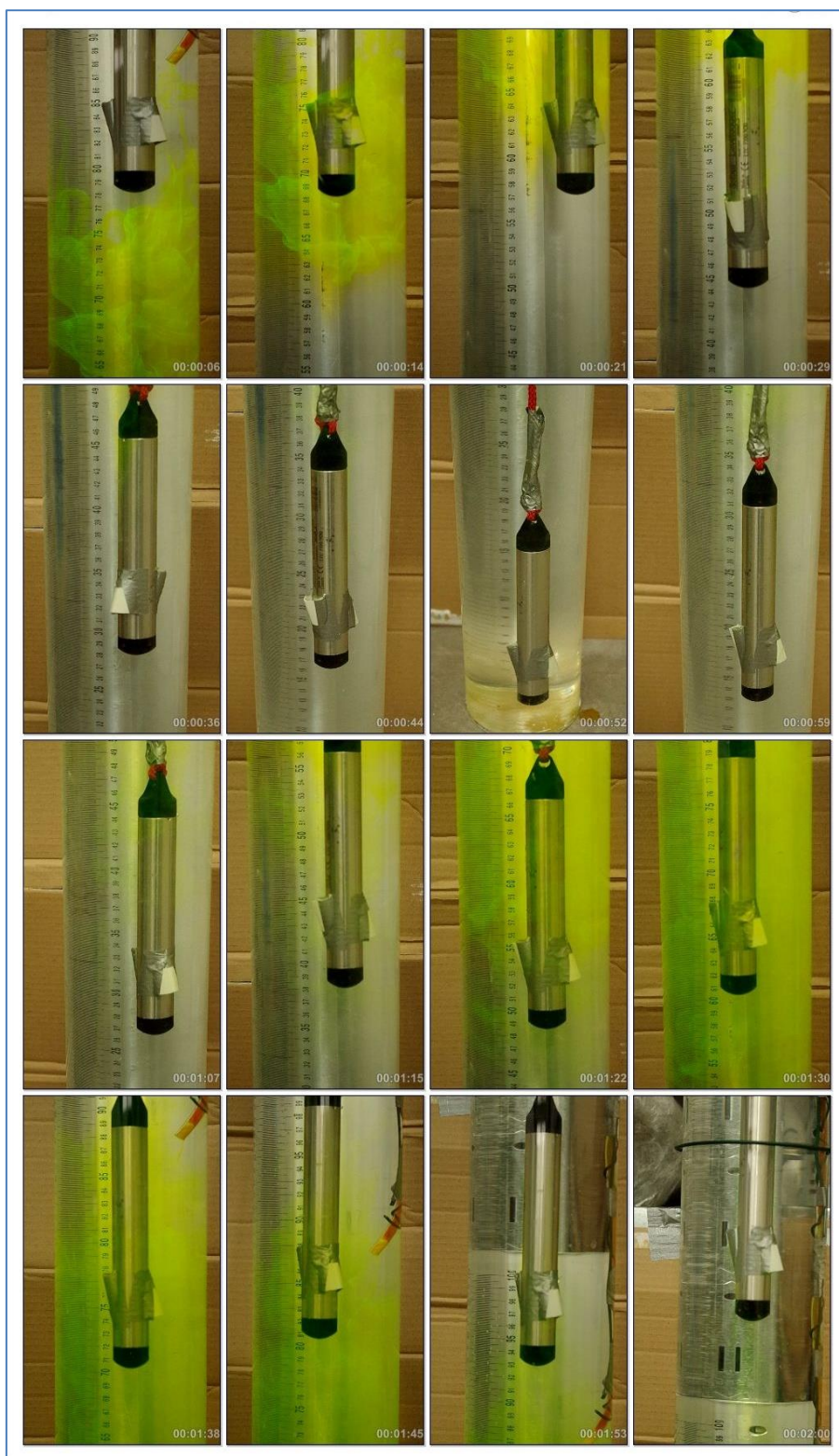
**Obrázek 27:** Sekvence snímků z natočeného záznamu během druhého pokusu s LTC čidlem se zalepenou měřicí štěrbínou. Počátek pokusu začíná prvním snímkem a pokračuje směrem vpravo (natáčení záznamu Tomáš Mohyla).

### 5. 1. 2. Upravená geometrie LTC čidla

V případě tohoto pokusu jsem vyrobila značku roztoku fluoresceinu (6 g/l) a zabývala jsem se zlepšením vymývání stopovače z měřicí štěrby pomocí upravené geometrie LTC čidla okolo měřicí štěrby.

Z videozáznamů, které jsem pořídila v průběhu experimentu s upravenou geometrií měřicí štěrby, jsem získala informace o vymývání stopovače z měřicí štěrby LTC čidla. Po pohybu LTC čidla směrem dolů skrz fluoresceinovou značku (mocnou přibližně 20 cm) došlo k vypláchnutí okem viditelného roztoku fluoresceinu přibližně po 15 cm (po 15 sekundách). Celkově se tedy vytvořená značka protáhla o 30 cm, takže měla na konci pokusu mocnost 50 cm. Zároveň se ukázalo, že náběhová hrana okolo měřicí štěrby nezpůsobuje viditelné víření vody ve vrtu. Dále je ze záznamu vidět, že se díky upravené geometrii LTC čidla odboural jev, kdy dochází k vytahování roztoku fluoresceinu díky imobilní vrstvě na povrchu čidla. Záznam ukazující výsledky experimentu jsou na obrázku 28. Z výsledků je tedy jasné patrné, že dochází k lepšímu vymývání roztoku fluoresceinu z měřicí štěrby čidla, čímž by mělo být dosaženo přesnějšího záznamu takových hodnot koncentrací, které se v určité hloubkové úrovni opravdu vyskytují.



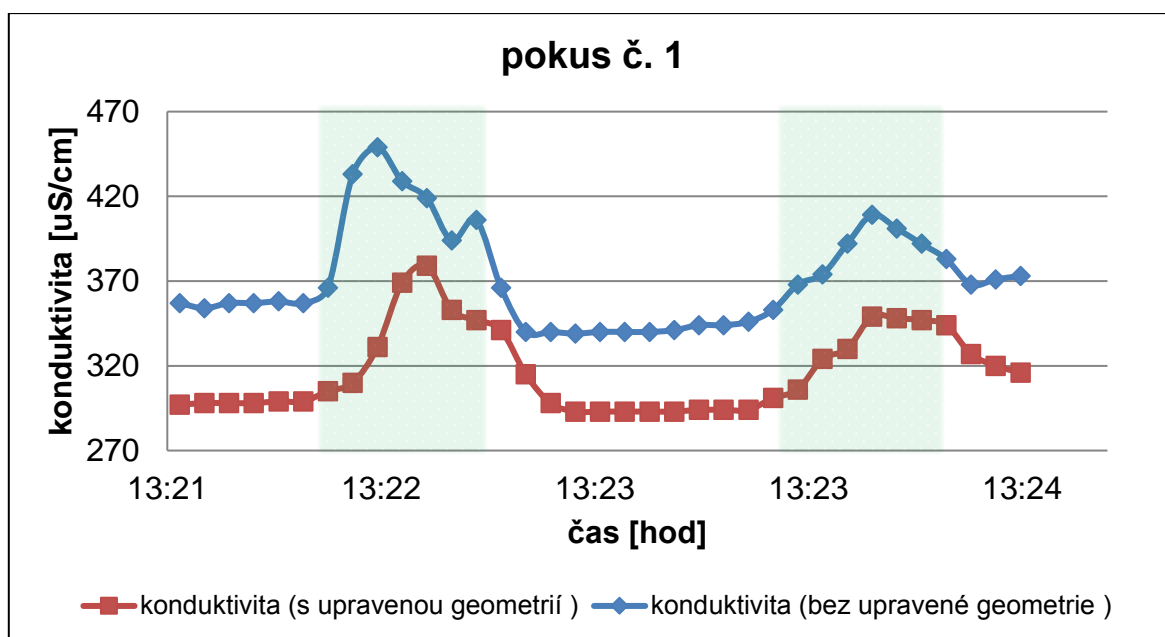


**Obrázek 28:** Sekvence snímků z natočeného záznamu během pokusu s náběhovou a výběhovou hranou okolo měřicí štěrbin. Počátek pokusu začíná prvním snímkem a pokračuje směrem vpravo. Ve 29 sekundě záznamu jde vidět vymývání roztoku fluoresceinu z výběhové hrany (natáčení záznamu Tomáš Mohyla).

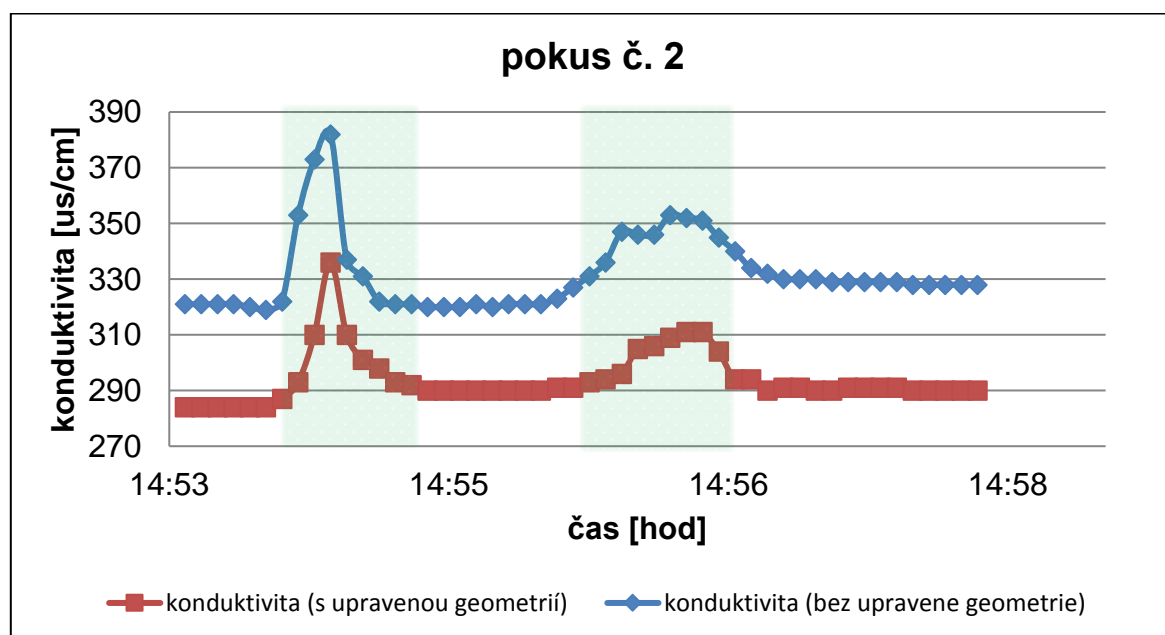
### 5. 1. 3. Ověření vymývání stopovače

V následujícím pokusu jsem vyrobila značku roztoku fluoresceinu (6 g/l) a NaCl (1,6 g/l) a zabývala jsem se srovnáním vymývání roztoku fluoresceinu z LTC čidla s upravenou geometrií tvaru okolo měřicí šterbiny a z LTC čidla bez úpravy.

Ze dvou uskutečněných pokusů jsem srovnala výsledky naměřené pomocí LTC čidla bez úpravy a s úpravou geometrie okolo měřicí šterbiny. První větší křivka zobrazuje pohyb LTC čidlem směrem dolů a druhá menší křivka pak znázorňuje pohyb směrem nahoru. Na první pohled je patrné, že LTC čidlo bez upravené geometrie měřilo v obou případech vyšší hodnoty konduktivity. Avšak když byla obě čidla vložena do nádoby s vodou s rozmíchanou solí, tak vykazovaly stejné hodnoty konduktivity. U pokusu č. 1. a pohybu čidla směrem dolů došlo k vymytí stopovače k původním hodnotám u obou LTC čidel stejně rychle (za 55 sekund). U pohybu směrem nahoru nedošlo k návratu na původní hodnoty, jelikož jsem nedopatřením v závěrečné fázi měření posunula čidla směrem dolů. Proto jsem také provedla pokus č. 2. Výsledky z pokusu č. 1 jsou zobrazeny na obrázku 29. U pokusu číslo 2 při spuštění čidla směrem dolů došlo k vymytí roztoku fluoresceinu za 60 s/ 120 cm u LTC čidla bez úpravy, na rozdíl od LTC čidla s upravenou geometrií (90 s/ 180 cm) při velikosti fluoresceinové značky 80 cm. U LTC čidla bez úpravy tedy došlo k rychlejšímu vymytí roztoku fluoresceinu, což při rychlosti pohybu čidla 10 cm/ 5 s odpovídá vymytí roztoku fluoresceinu o 60 cm. Při vytahování čidla směrem nahoru došlo k rychlejšímu vymytí roztoku fluoresceinu u LTC čidla s upravenou geometrií (za 60 s/ 120 cm) při velikosti fluoresceinové značky 80 cm, na rozdíl od LTC čidla bez úpravy, kde nedošlo k návratu k původním hodnotám do ukončení experimentu. Výsledky z pokusu č. 2 jsou zobrazeny na obrázku 30. Nelze vyloučit, že výsledky mohly být ovlivněny vzájemným působením čidel v průběhu měření.



**Obrázek 29:** Ověření vymytí stopovače pomocí LTC čidla s upravenou geometrií tvaru a bez upravené geometrie tvaru okolo měřící štěrbin. Modré sloupce v grafu zobrazují rozsah hloubkové značky. Pokus č. 1.



**Obrázek 30:** Ověření vymytí stopovače pomocí LTC čidla s upravenou geometrií tvaru a bez upravené geometrie tvaru okolo měřící štěrbin. Modré sloupce v grafu zobrazují rozsah hloubkové značky Pokus č. 2.

## **5. 2. Metoda ředění označené kapaliny**

Výsledkem terénních měření byl záznam ředění označené kapaliny při sestupné fázi měření a z něj odvozená rychlost proudění v dané hloubce a průtok daným úsekem vrtu. Hloubkové úseky, u kterých jsem interpretovala rychlost proudění a průtok, jsem vybírala tak, aby pokryly celý otevřený úsek vrtu a různý charakter ředění (poklesové trendy konduktivity). Tyto úseky jsem vybírala z grafu znázorňující vztah hloubky vrtu a konduktivity, na kterém je vidět, v kterých hloubkových úsecích dochází buď k podobnému nebo různému ředění stopovače. U hodnot rychlosti proudění byl použit všeobecně akceptovaný drenážní koeficient 2.

### **5. 1. 1. Výsledky z měření v oblasti Káraný**

Na lokalitě Káraný bylo celkem zrealizováno měření za přirozených podmínek proudění vody na dvanácti vrtech s označením V01 – V12 v období 14. – 28. 3. 2014 a tedy krátce po vyhloubení vrtů. Záznamy měření z metody ředění označené kapaliny se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 1 – 118). Bližší informace o uskutečněných měřeních na vrtech V01 – V12 jsou uvedeny v tabulce 10.

Ve vrtech V02, V03, V09 a V10 byla později také použita metoda ředění označené kapaliny s upravenou geometrií LTC čidla a metoda se stabilně umístěnými čidly ve vrtu (kapitoly 5. 3. a 5.4.1). Tato měření probíhala na lokalitě o dva roky později v období od 2. – 5. 6. 2016, kdy již mohlo dojít k částečné kolmataci vrtů. Díky odstávkám jímacích řadů a proměnlivým hydrologickým podmínkám (stavy Jizery, stavy podzemní vody) se mohlo proudění v obou obdobích od sebe výrazně lišit.

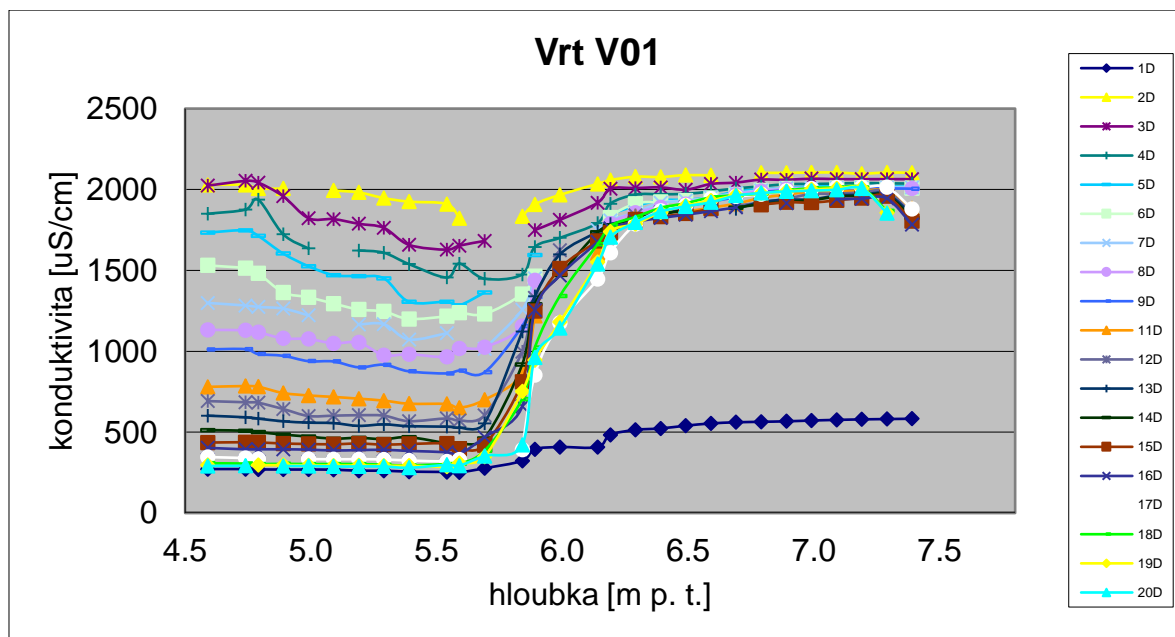
**Tabulka 10:** Měření na vrtech V01 – V12 na lokalitě Káraný metodou ředění označené kapaliny s pohyblivým LTC čidlem bez upravené geometrie tvaru okolo měřicí šterbiny.

Vrt	Datum měření (2014)	HPV (m p. t.)	Hloubkový rozsah měření (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita ( $\mu\text{S/cm}$ )	Navýšená konduktivita ( $\mu\text{S/cm}$ )
V01	21.3.	4,54	4,6 – 7,5	5	100	580	2100
V02	21.3.	4,35	4,4 – 7,7	5	100	220	2300
V03	19.3.	6,12	6,3 – 10,5	5	100	880	3000
V04	21.3.	7,45	7,5 – 11,0	5	100	690	2500
V05	25.3.	3,53	3,7 – 7,8	5	100	340	2300
V06	19.3.	3,66	3,7 – 8,2	5	100	800	2800
V07	14.3.	6,93	7,0 – 8,9	4	50	820	2100
V08	14.3.	6,09	6,1 – 9,4	7	100	820	2800
V09	28.3.	4,12	4,2 – 9,3	5	130	680	2100
V10	14.3.	5,89	6,0 – 8,3	4,5	50	700	1800
V11	28.3.	16,15	16,2 – 27,8	7	400	640	2400
V12	19.3.	5,48	5,5 – 10,9	11,32	6	630	2700

#### Vrt V01

Ve vrtu V01 docházelo k ředění stopovače v hloubce 4,6 m – 6,5 m (Obrázek 31). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 2 – 4), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hladiny 4,6 m po hloubku 5,7 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění klesá od hloubky 5,1 m k bázi vrtu ze 1,1 m/den na 0,05 m/den (tabulka 12, obrázek 32). Snížení rychlosti nad kalníkem v hloubce 6,5 m (0,05 m/den) může být zdánlivé, jelikož může docházet k vymývání solného roztoku ze stagnující části vrtu díky pohybům čidla. To je viditelné na obrázku 31, kde se překrývají křivky z různých časových intervalů. Ve větších hloubkách v oblasti plné pažnice dochází k akumulaci solného roztoku v kalníku, který se nachází v hloubce 7 – 7,5 m.

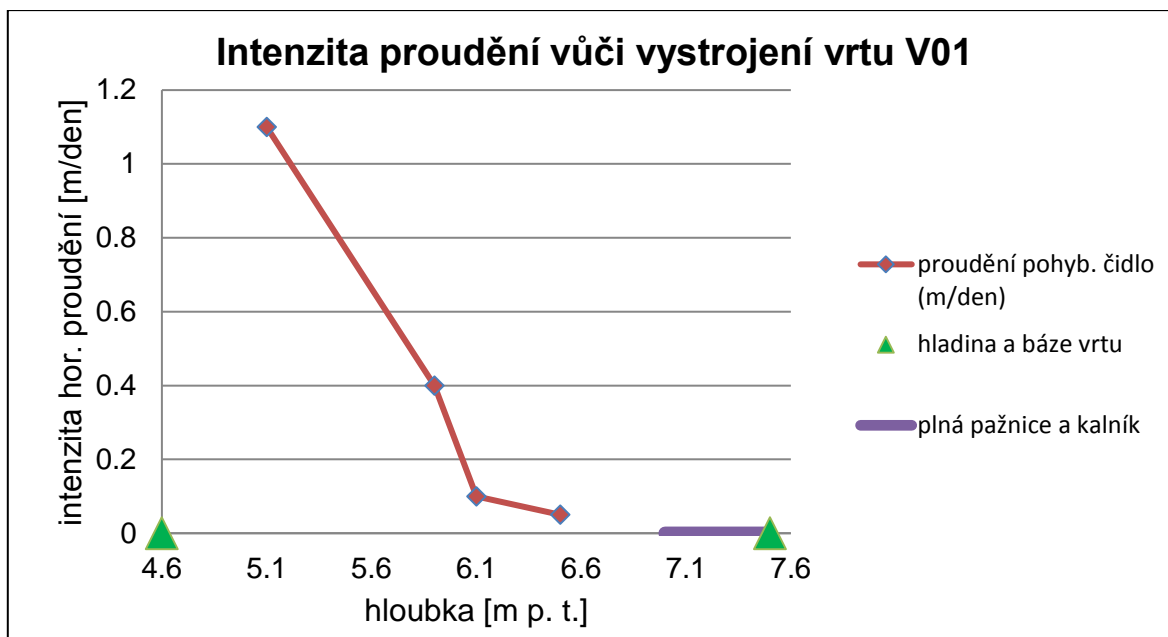




**Obrázek 31:** Záznam hodnot naměřených LTC čidlem ve vrtu V01 (21. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 4,6 - 6,5 m. Kalník se nachází v hloubce 7 – 7,5 m.

**Tabulka 12:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V01.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
5,1	43	1,1
5,9	12	0,4
6,1	3,7	0,1
6,5	1,9	0,05

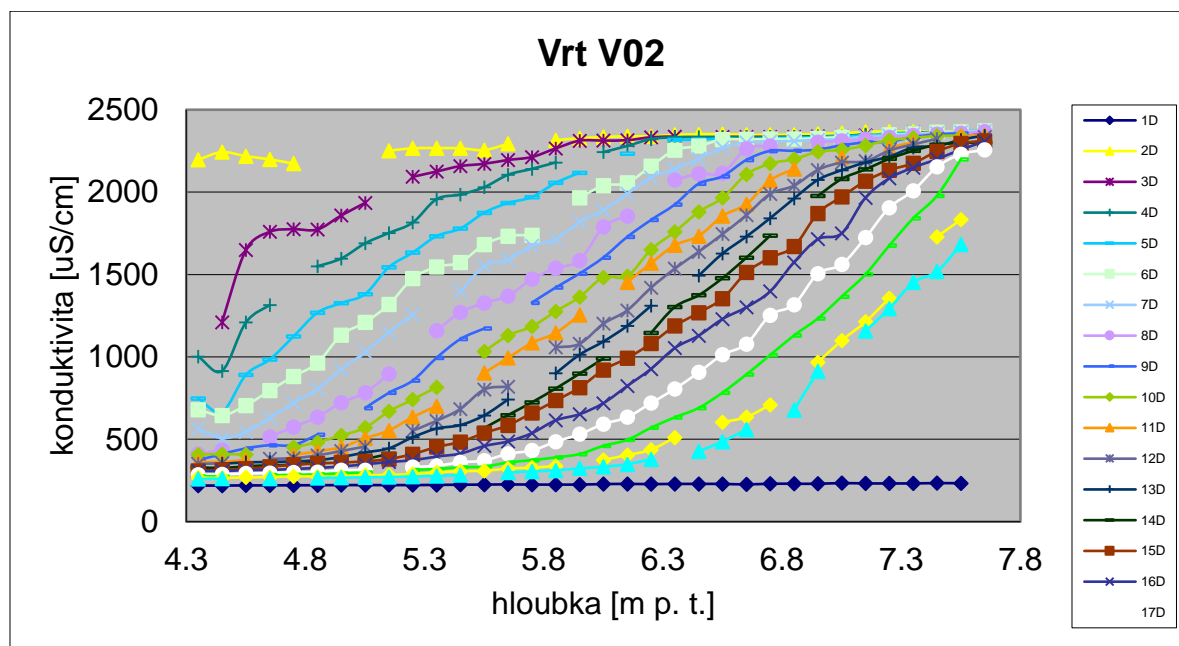


**Obrázek 32:** Ve vrtu V01 docházelo v hloubce 5,1 - 6,5 m k poklesu rychlosti proudění ze 1,1 m/den na 0,05 m/den.

### Vrt V02

Ve vrtu V02 docházelo k ředění stopovače v hloubce 4,4 m – 7,3 m (Obrázek 33). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 6 – 10), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase má ve všech hloubkových úsecích vždy dva úseky s různou rychlostí poklesu konduktivity v čase. V hloubkách do 5,8 m p. t. dochází nejprve po dobu 1 – 2 hod k strmému poklesu konduktivity, po kterém následuje pomalý pokles. Naopak v úseku 6,3 – 6,8 m je relativně pomalý pokles následován prudkým poklesem, což ukazuje na vertikální komponentu proudění. Pomalé ředění na začátku lze interpretovat jako horizontální přetékání vrtem, rychlé ředění nastává poté, co vertikální proudění vymyje solný roztok z nadložních úseků. Jednotlivé poklesové úseky konduktivity odpovídají exponenciálnímu modelu (Obrázek 9 - 10, příloha 1). Od hladiny 4,5 m po hloubku 5,8 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění, níže v úrovni 6,3 až 6,8 je horizontální proudění kombinováno se sestupným vertikálním prouděním. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 4,8 m k bázi vrtu z 2 m/den na 0,2 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu se pohybuje od hloubky 4,8 m – 5,8 m okolo 0,55 – 0,65 m/den (tabulka 13, obrázek 34). Intenzita vertikálního proudění se v hloubce 6,3 m – 6,8 m pohybuje okolo 0,25 – 0,5 l/den. Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění

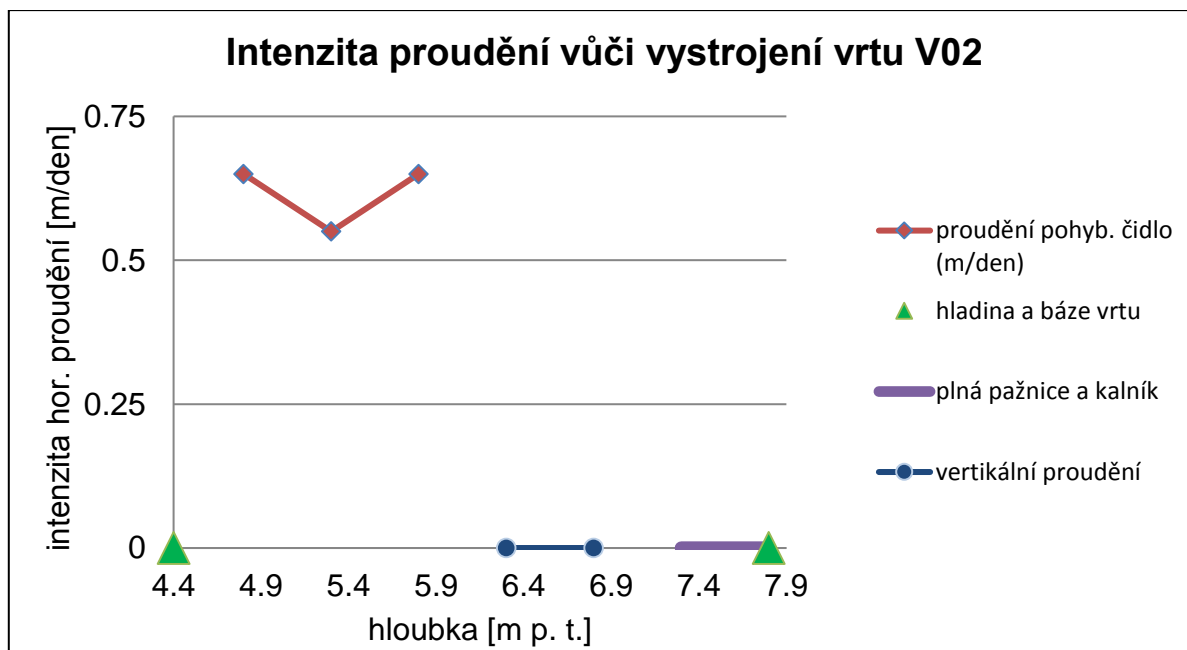
jsou pravděpodobně spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.



**Obrázek 33:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V02 (21. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 4,4 - 7,3 m. Kalcín se nachází v hloubce 7,3 – 7,8 m.

**Tabulka 13:** Rychlost horizontálního a vertikálního proudění (6,3 m – 6,8 m) v jednotlivých hloubkách na vrtu V02. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

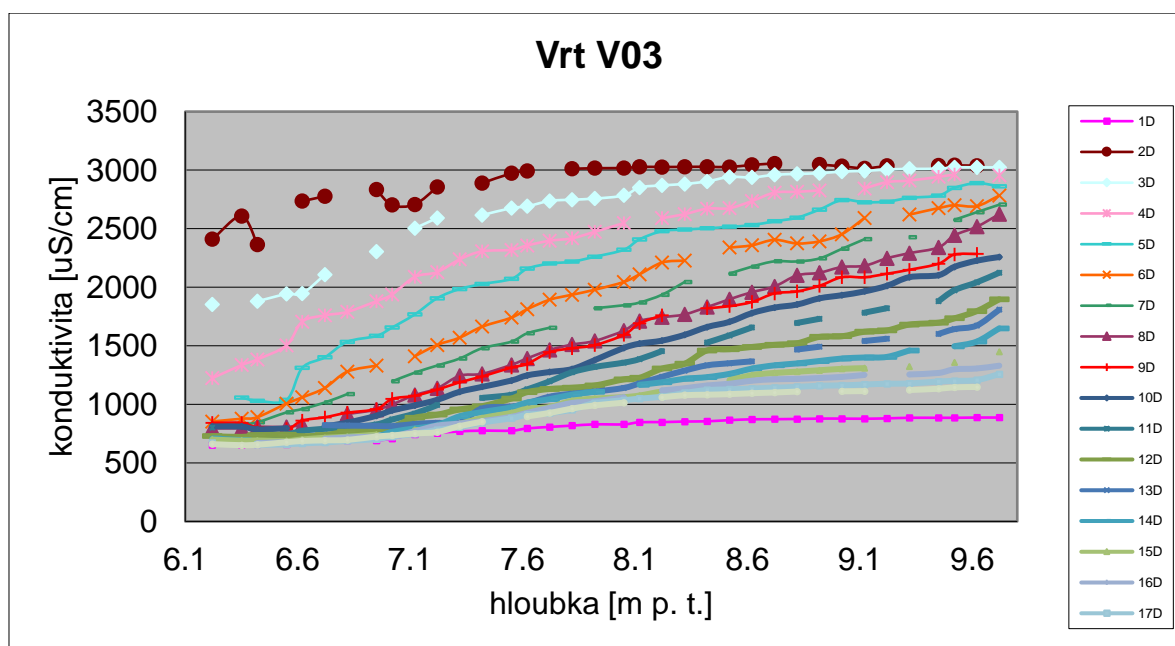
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
4,8	73 (23)	2 (0,65)
5,3	46 (19)	1,3 (0,55)
5,8	28 (24)	0,8 (0,65)
6,3	0,5	-
6,8	0,25	-



**Obrázek 34:** Ve vrtu V02 se rychlost proudění v hloubce 4,8 – 5,8 m pohybovala okolo 0,55 – 0,65 m/den.

### Vrt V03

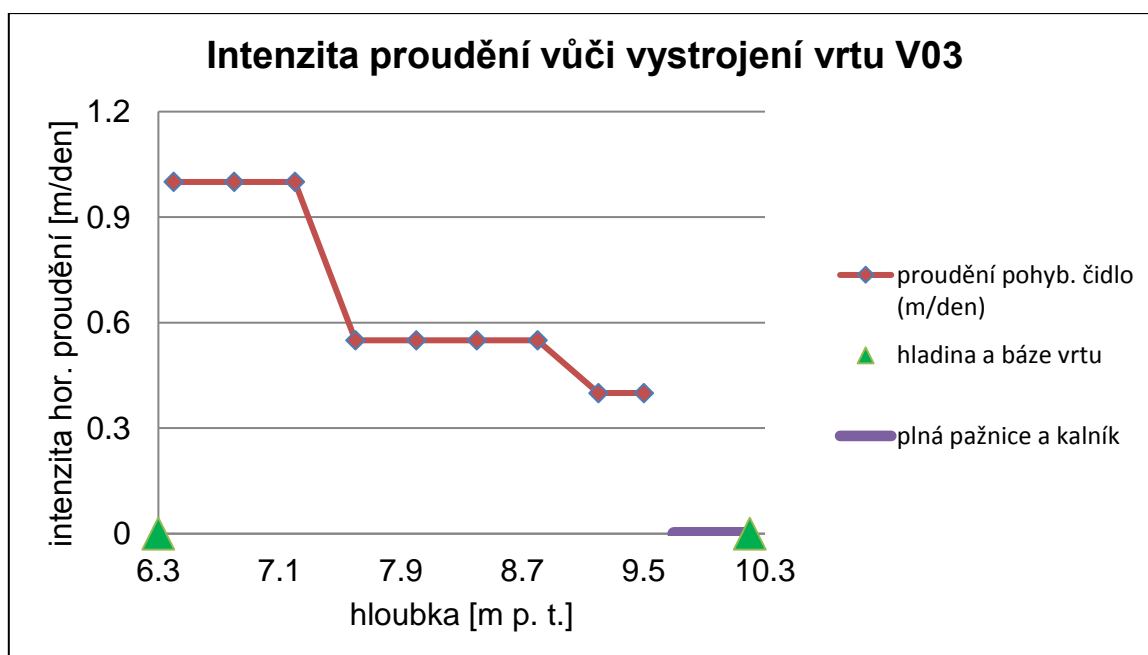
Ve vrtu V03 docházelo k ředění stopovače v hloubce 6,3 m – 9,7 m (Obrázek 35). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 15 – 23), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce od 8,4 m – 9,5 m. V hloubce 6,4 m – 8,0 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 1 -1,5 h od konce solení. Následně po 1 – 1,5 hod o dosažené konduktivitě v rozmezí 800 – 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dochází ke zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 15 - 19, příloha 1). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hladiny 6,3 m po hloubku 9,7 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 6,4 m k bázi vrtu z 3,5 m/den na 0,55 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu se pohybuje od hloubky 6,4 m – 8,0 m okolo 1 m/den – 0,55 m/den (tabulka 14, obrázek 36). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.



**Obrázek 35:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V03 (19. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 6,3 - 9,7 m. Kalník se nachází v hloubce 9,7 – 10,2 m.

**Tabulka 14:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V03. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

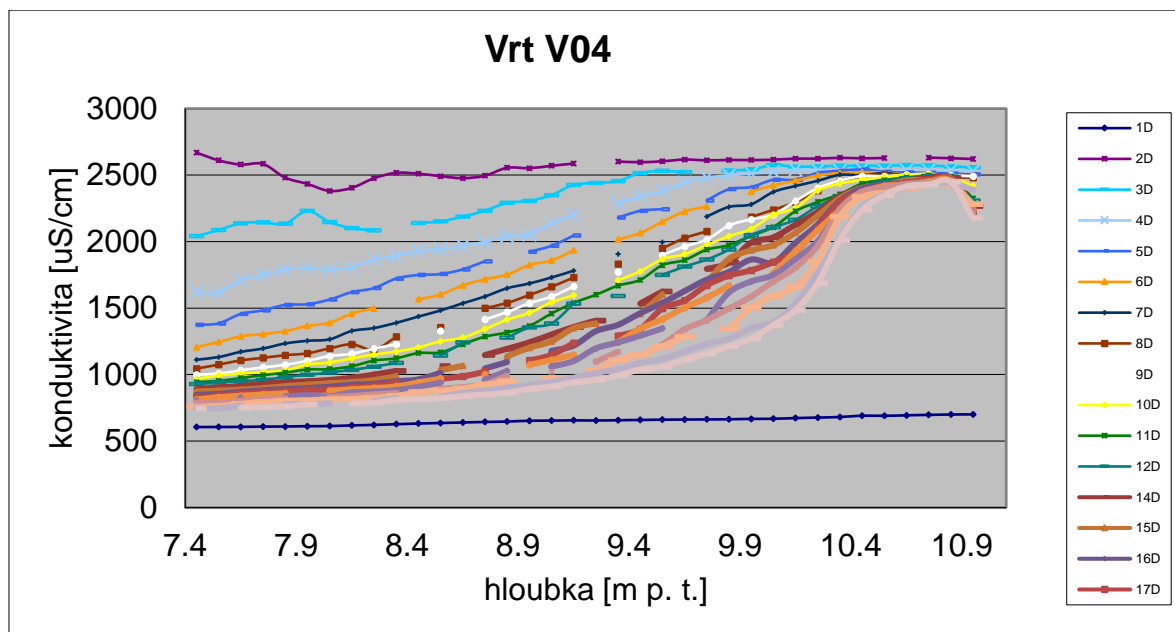
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
6,4	121 (30)	3,5 (1)
6,8	73 (33)	2 (1)
7,2	61 (33)	1,7 (1)
7,6	52 (19)	1,5 (0,55)
8,0	33 (19)	1 (0,55)
8,4	19	0,55
8,8	19	0,55
9,2	17	0,4
9,5	17	0,4



**Obrázek 36:** Ve vrtu V03 docházelo v hloubce 6,4 – 9,5 m k poklesu rychlosti proudění z 1 m/den na 0,4 m/den.

#### Vrt V04

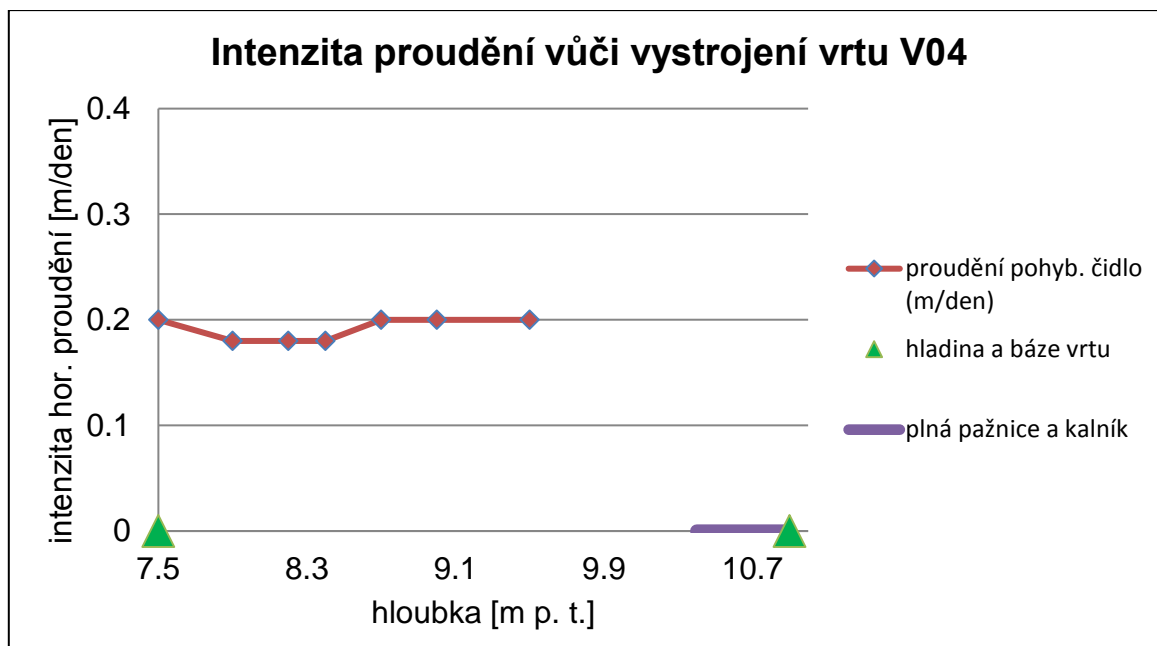
Ve vrtu V04 docházelo k ředění stopovače v hloubce 7,5 m – 10,3 m (Obrázek 37). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 30 – 36), je zřejmé, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce pouze v hloubce 9,5 m. V hloubce 7,5 m – 9,0 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 1 h od konce solení. Následně po 1 hod o dosažené konduktivitě v rozmezí 1000 – 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 30 - 35, příloha 1). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hladiny 7,5 m po hloubku 9,5 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 7,5 m k bázi vrtu z 3,0 m/den na 0,3 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu se pohybuje od hloubky 7,5 m – 9,0 m okolo 0,2 m/den (tabulka 15, obrázek 38). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.



**Obrázek 37:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V04 (21. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 7,5 - 10,3 m. Kalník se nachází v hloubce 10,4 – 10,9 m.

**Tabulka 15:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V04. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
7,5	91 (7)	3 (0,2)
7,9	73 (6,6)	2 (0,18)
8,2	52 (6)	1,5 (0,18)
8,4	52 (6)	1,5 (0,18)
8,7	40 (8)	1 (0,2)
9,0	24 (7)	0,7 (0,2)
9,5	12	0,2



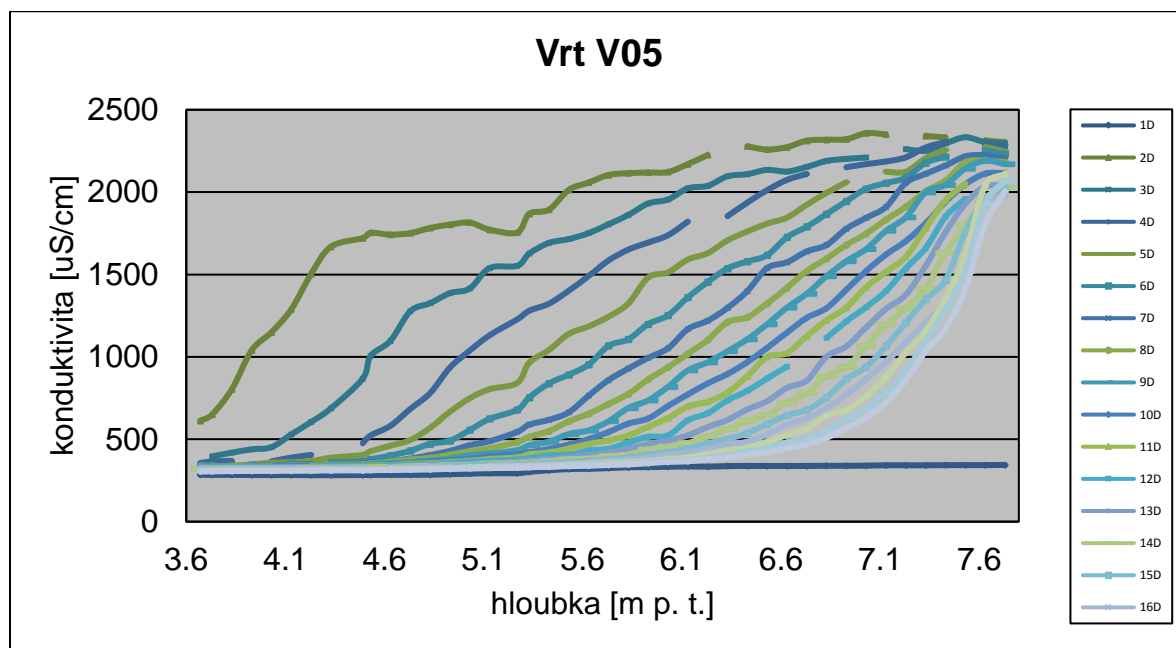
**Obrázek 38:** Ve vrtu V04 se pohybovala rychlost proudění v hloubce 7,5 – 9,5 m okolo 0,2 m/den.

### Vrt V05

Ve vrtu V05 docházelo k ředění stopovače v hloubce 3,7 m – 7,4 m (Obrázek 39). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 45 – 53), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubkovém úseku pouze od hloubky 6,2 m – 7,0 m. V hloubce 3,8 m – 5,8 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase od 30 min do 2 h od konce solení. Následně po 30 min - 2 hod o dosažené konduktivitě v rozmezí 330 – 490 uS/cm dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 45 - 50, příloha 1). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hloubky 3,8 m po hloubku 9,5 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 4,2 m k bázi vrtu z 8,0 m/den na 0,5 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu se pohybuje od hloubky 4,2 m – 5,8 m okolo 0,2 m/den – 0,7 m/den (tabulka 16, obrázek 40). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění



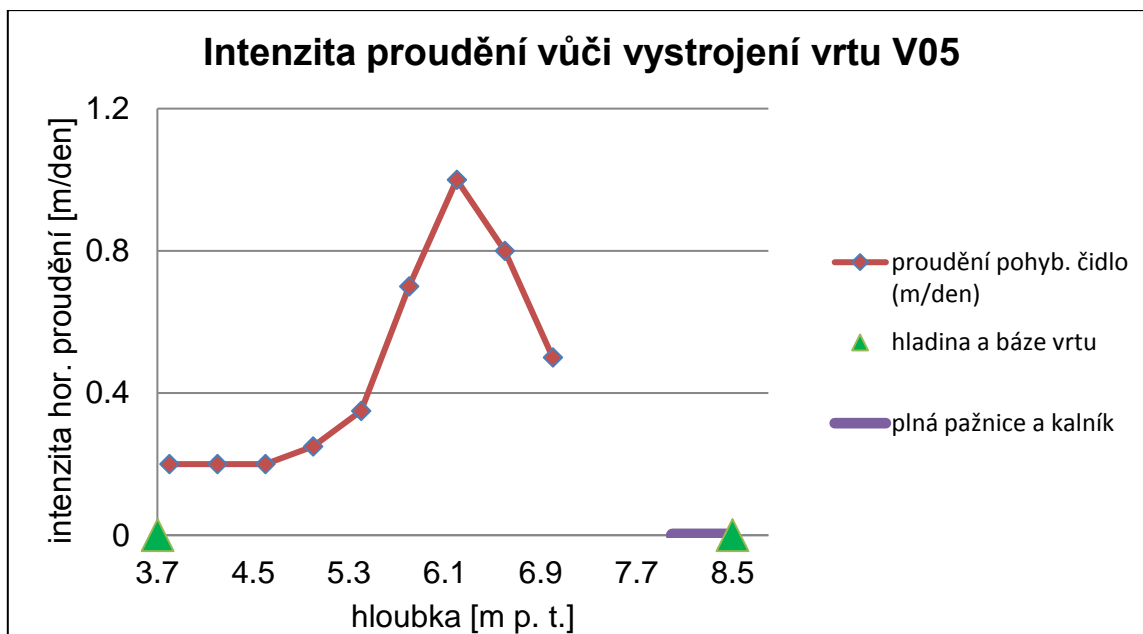
jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.



**Obrázek 39:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V05 (25. 4. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 3,7 - 7,4 m. Kalník se nachází v hloubce 7,2 – 7,7 m.

**Tabulka 16:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V05. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

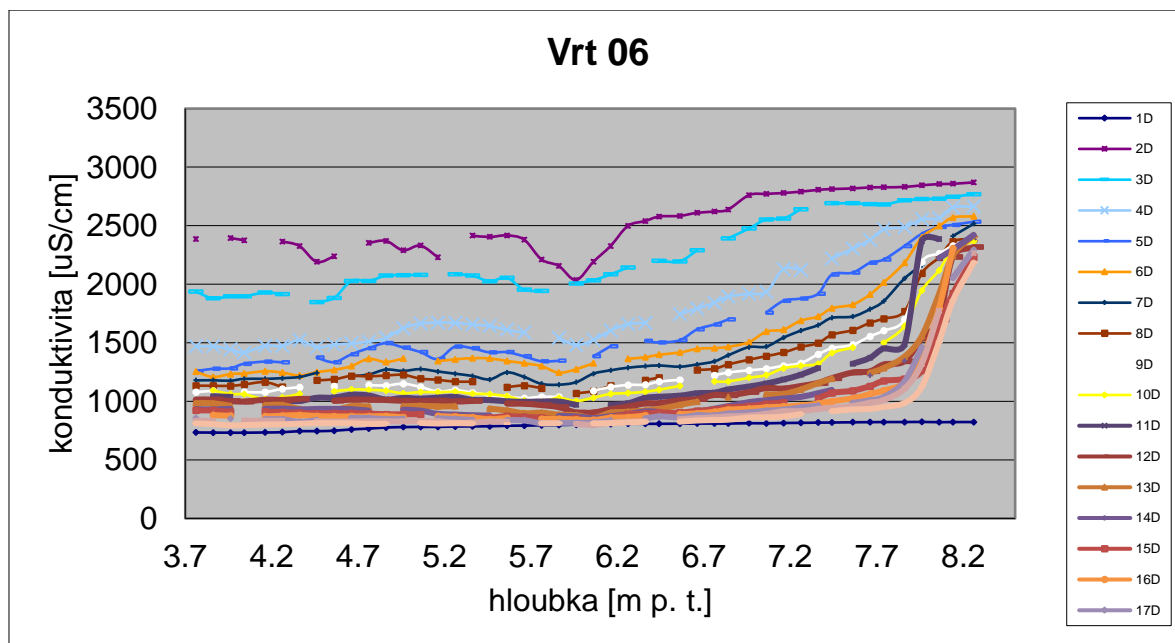
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
3,8	120 (8)	3,5 (0,2)
4,2	300 (8)	8 (0,2)
4,6	180 (8)	5 (0,2)
5,0	120 (9)	3,5 (0,25)
5,4	90 (12)	2,5 (0,35)
5,8	60 (24)	1,7 (0,7)
6,2	35	1,0
6,6	25	0,8
7,0	17	0,5



**Obrázek 40:** Ve vrtu V05 se pohybovala rychlost proudění v hloubce 3,8 – 7,0 m okolo 0,2 - 1 m/den.

#### Vrt V06

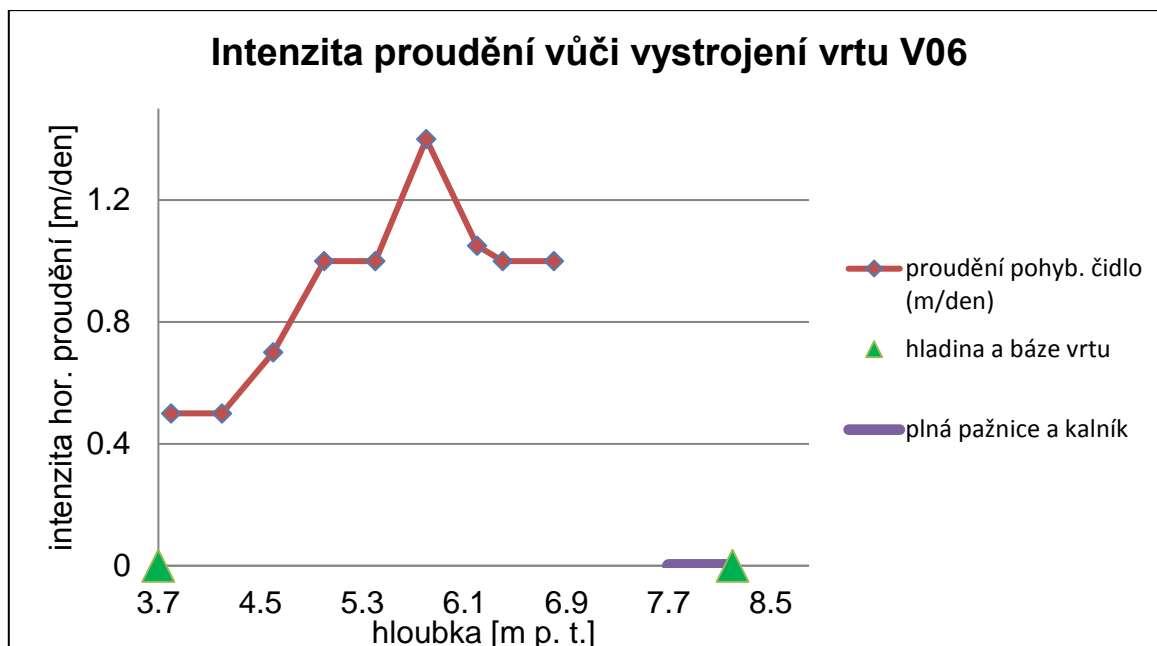
Ve vrtu V06 docházelo k ředění stopovače v hloubce 3,7 m – 8,2 m (Obrázek 41). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 61 – 69), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce pouze 5,8 m – 6,8 m. V hloubce 3,8 m – 5,4 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase od 30 min do 1 h od konce solení. Následně po 30 min - 1 hod o dosažené konduktivitě v rozmezí 1000 – 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 61 - 65, příloha 1). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hloubky 3,7 m po hloubku 7,6 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 3,8 m k bázi vrtu z 3,5 m/den na 1,0 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu se pohybuje od hloubky 3,8 m – 5,4 m okolo 0,5 m/den – 1,0 m/den (tabulka 17, obrázek 42). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.



**Obrázek 41:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V06 (19. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 3,7 - 8,2 m. Kalník se nachází v hloubce 7,7 – 8,2 m.

**Tabulka 17:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V06. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

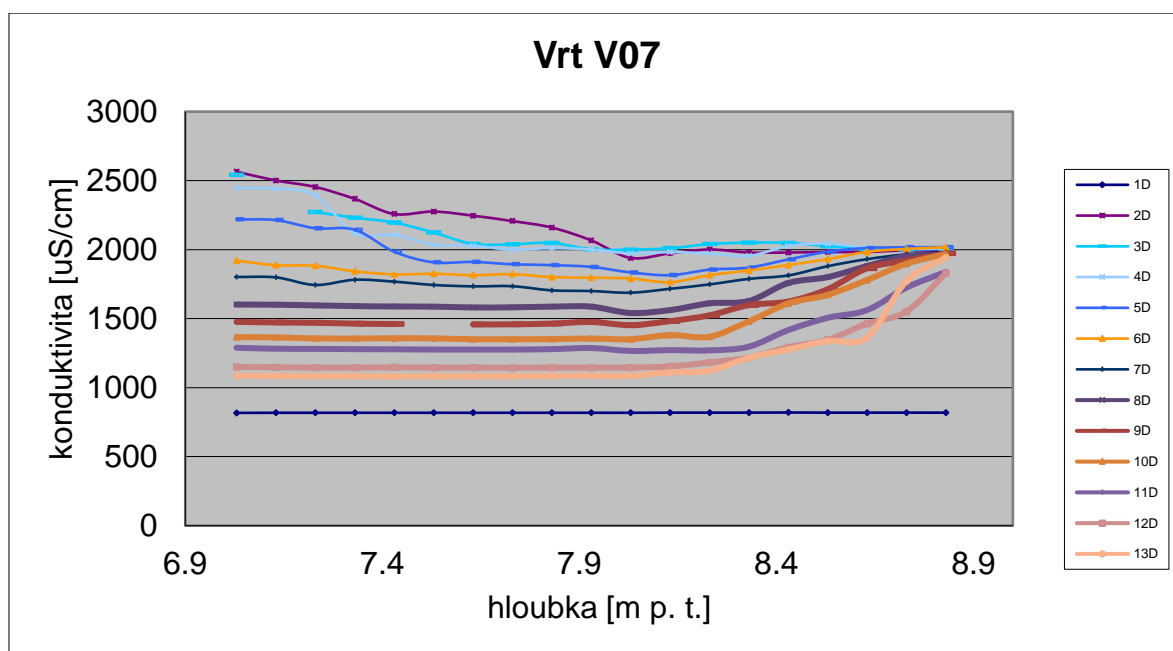
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
3,8	121 (18)	3,5 (0,5)
4,2	121 (18)	3,5 (0,5)
4,6	91 (24)	2,5 (0,7)
5,0	81 (36)	2,3 (1)
5,4	81 (36)	2,3 (1)
5,8	50	1,4
6,2	38	1,05
6,4	36	1,0
6,8	36	1,0



**Obrázek 42:** Ve vrtu V06 se pohybovala rychlost proudění v hloubce 3,8 – 6,8 m okolo 0,5 – 1,4 m/den.

### Vrt V07

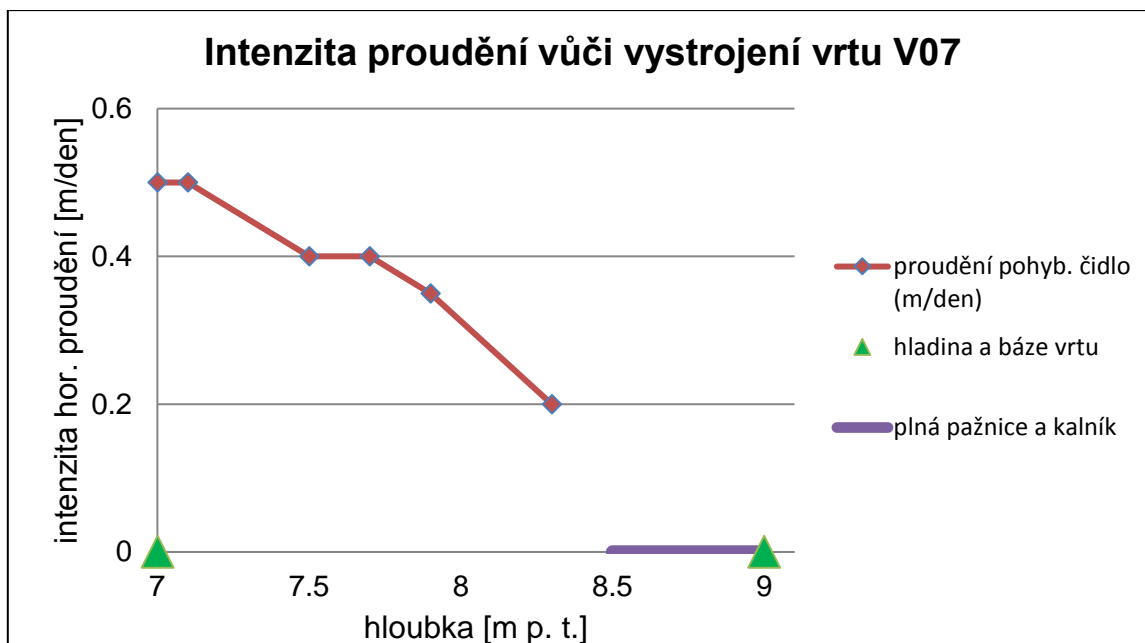
Ve vrtu V07 docházelo k ředění stopovače v hloubce 7,0 m – 8,5 m (Obrázek 43). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 75 – 78), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hladiny 7,0 m po hloubku 8,3 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění klesá od hloubky 7,0 m k bázi vrtu z 0,5 m/den na 0,4 m/den (tabulka 18, obrázek 44).



**Obrázek 43:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V07 (14. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 7,0 - 8,8 m. Kalník se nachází v hloubce 8,5 – 9,0 m.

**Tabulka 18:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V07.

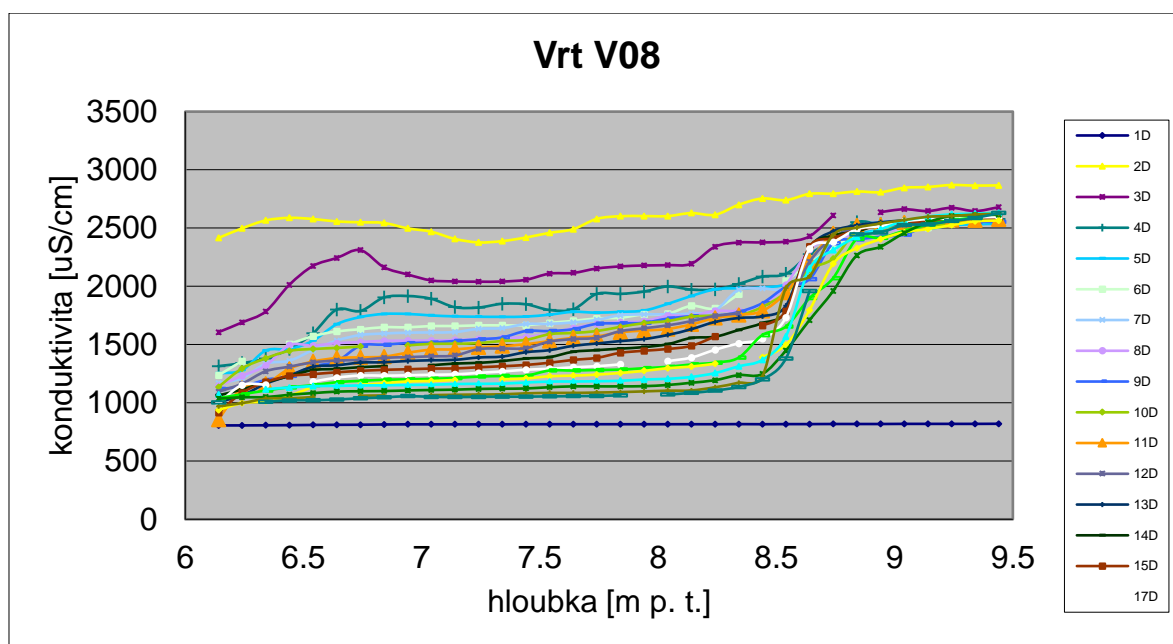
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
7,0	17	0,5
7,1	17	0,5
7,5	15	0,4
7,7	14	0,4
7,9	13	0,35
8,3	7	0,2



**Obrázek 44:** Ve vrtu V07 docházelo v hloubce 7,0 – 8,5 m k poklesu rychlosti proudění z 0,5 m/den na 0,2 m/den.

### Vrt V08

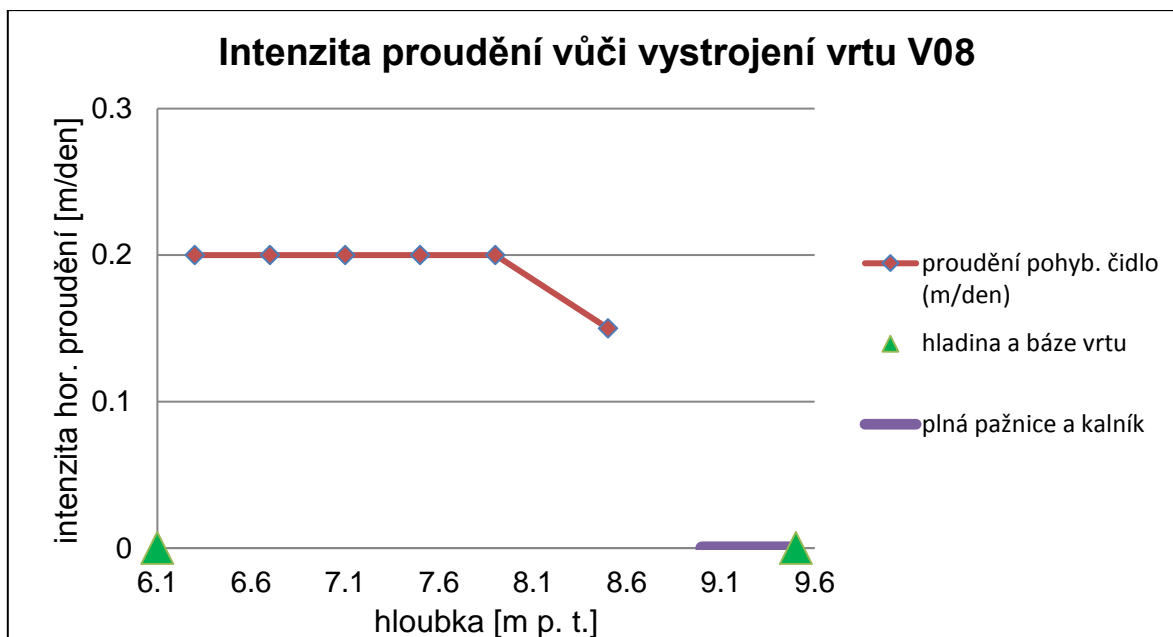
Ve vrtu V08 docházelo k ředění stopovače v hloubce 6,1 m – 8,5 m (Obrázek 45). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 80 – 84), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hloubky 6,3 m po hloubku 8,5 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění od hloubky 6,1 m k bázi vrtu klesá od 0,2 m/den na 0,15 m/den (tabulka 19, obrázek 46). V kalníku v hloubce 9,0 – 9,5 m dochází k akumulaci roztoku soli. Prudký pokles konduktivity během prvních několika minut je pravděpodobně způsoben vyrovnáváním koncentrací ve vrtu a obsypu (Obrázek 81 – 83, příloha 1).



**Obrázek 45:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V08 (14. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 6,1 - 8,5 m. Kalník se nachází v hloubce 9,0 – 9,5 m.

**Tabulka 19:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V08.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
6,3	7	0,2
6,7	7	0,2
7,1	7	0,2
7,5	7	0,2
7,9	7	0,2
8,5	6	0,15

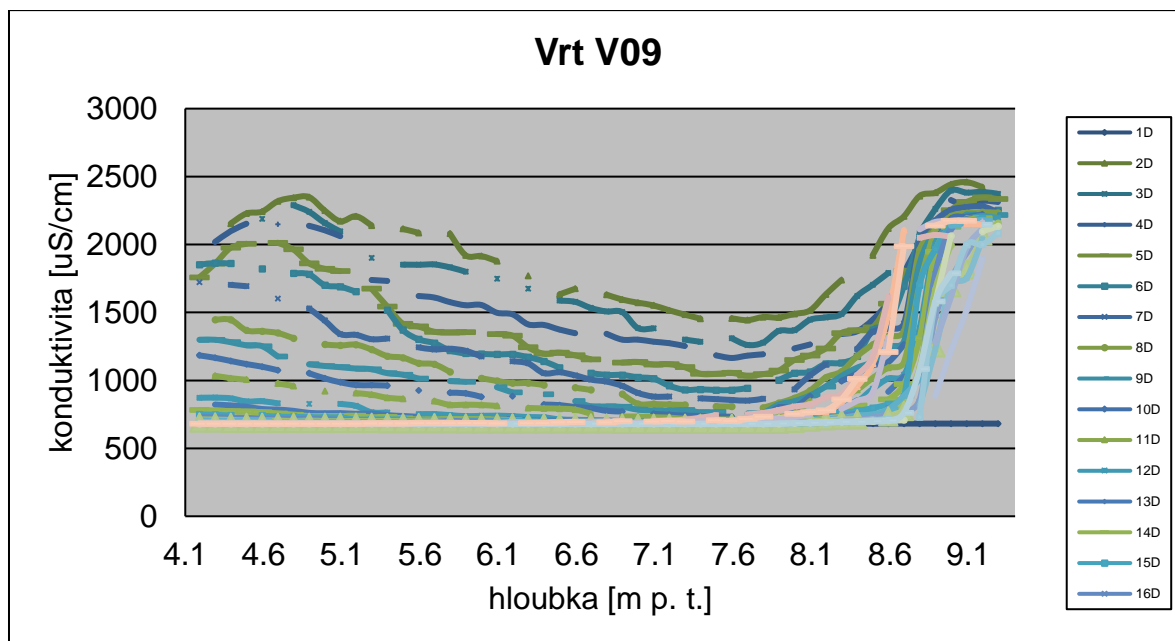


**Obrázek 46:** Ve vrtu V08 docházelo v hloubce 6,3 – 8,5 m k poklesu rychlosti proudění z 0,2 m/den na 0,15 m/den.

#### Vrt V09

Ve vrtu V09 docházelo k ředění stopovače v hloubce 4,3 m – 8,6 m (Obrázek 47). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 86 – 92), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hladiny 4,3 m po hloubku 8,4 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se od hloubky 4,9 m k bázi vrtu pohybuje od 2 m/den až k 1,0 m/den (tabulka 20, obrázek 48).

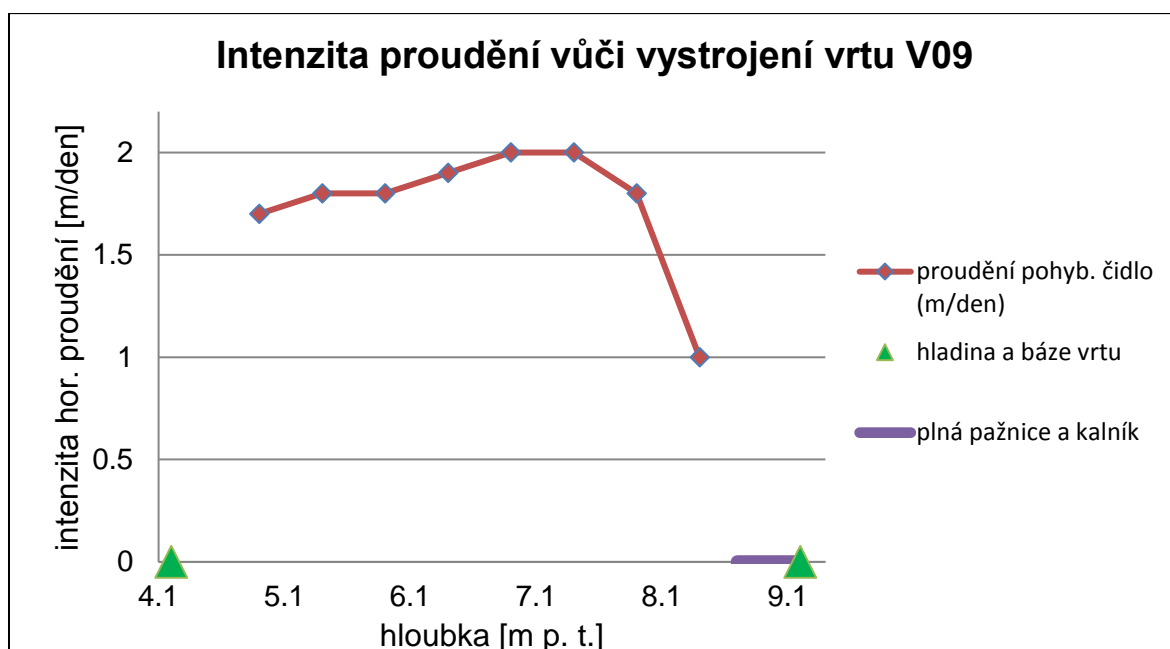




**Obrázek 47:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V09 (28. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 4,3 - 8,6 m. Kalník se nachází v hloubce 8,7 – 9,2 m.

**Tabulka 20:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V09.

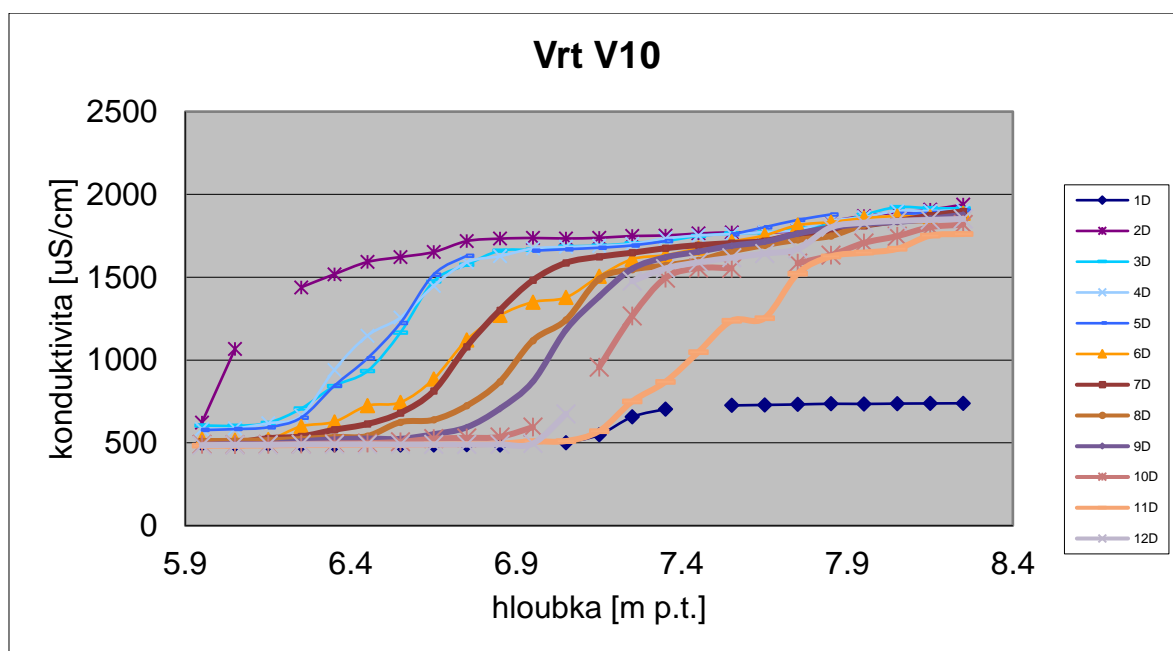
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
4,9	61	1,7
5,4	63	1,8
5,9	63	1,8
6,4	65	1,9
6,9	70	2
7,4	73	2
7,9	61	1,8
8,4	36	1,0



**Obrázek 48:** Ve vrtu V09 v hloubce 4,9 – 8,4 m se pohybovala rychlost proudění od 2 m/den až k 1,0 m/den.

### Vrt V10

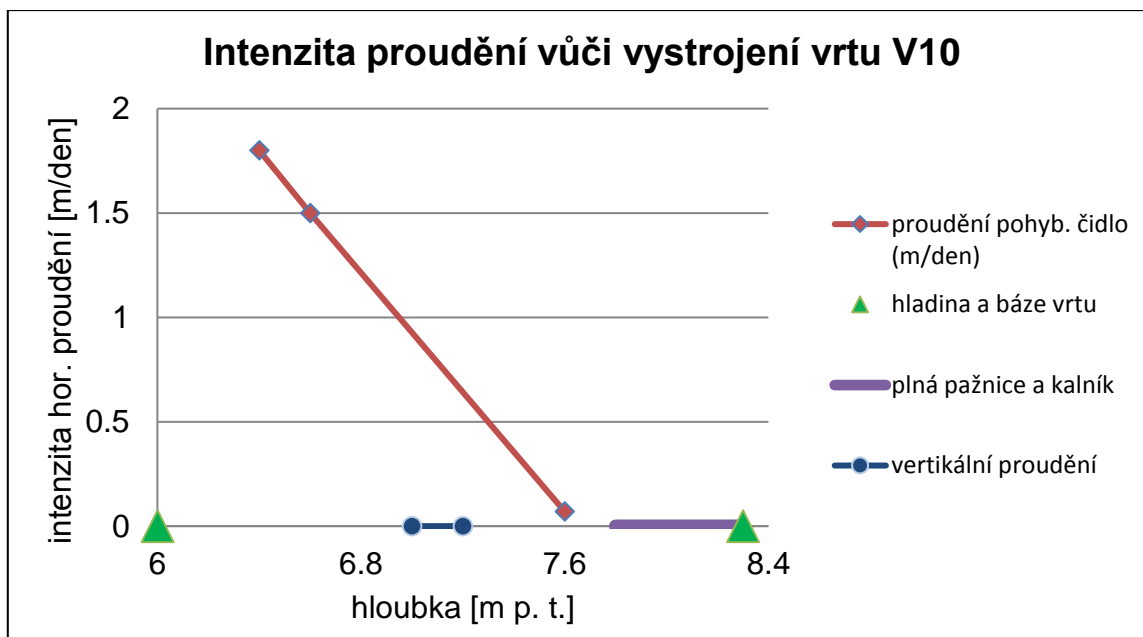
Ve vrtu V10 docházelo k ředění stopovače v hloubce 6,0 m – 7,7 m (Obrázek 49). Záznamy měření se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 94 – 98). Je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem do hloubky 6,6 m a dále pak od hloubky 7,4 m. V hloubce 7,0 m – 7,2 m pokles konduktivity navazuje na exponenciální model až po 2,5 – 3 h od konce solení. V těchto hloubkách do 2,5 – 3 h nedochází k žádnému poklesu konduktivity v čase, což je typické pro vertikální komponentu. Ve vrtu bylo zjištěno kombinované horizontální a vertikální proudění. Od hloubky 6,4 m po hloubku 6,6 m a dále pak od hloubky 7,4 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění, v hloubkách 7,0 – 7,2 m bylo zjištěno vertikální sestupné proudění. Intenzita proudění klesá od hloubky 6,4 m k bázi vrtu ze 1,8 m/den na 0,07 m/den (tabulka 21, obrázek 50). Intenzita vertikálního proudění je v hloubce 7,0 – 7,2 m 0,19 l/den.



**Obrázek 49:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V10 (14. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 6,0 - 7,7 m. Kalník se nachází v hloubce 7,8 – 8,3 m.

**Tabulka 21:** Rychlost horizontálního a vertikálního (7,0 – 7,2 m) proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V10.

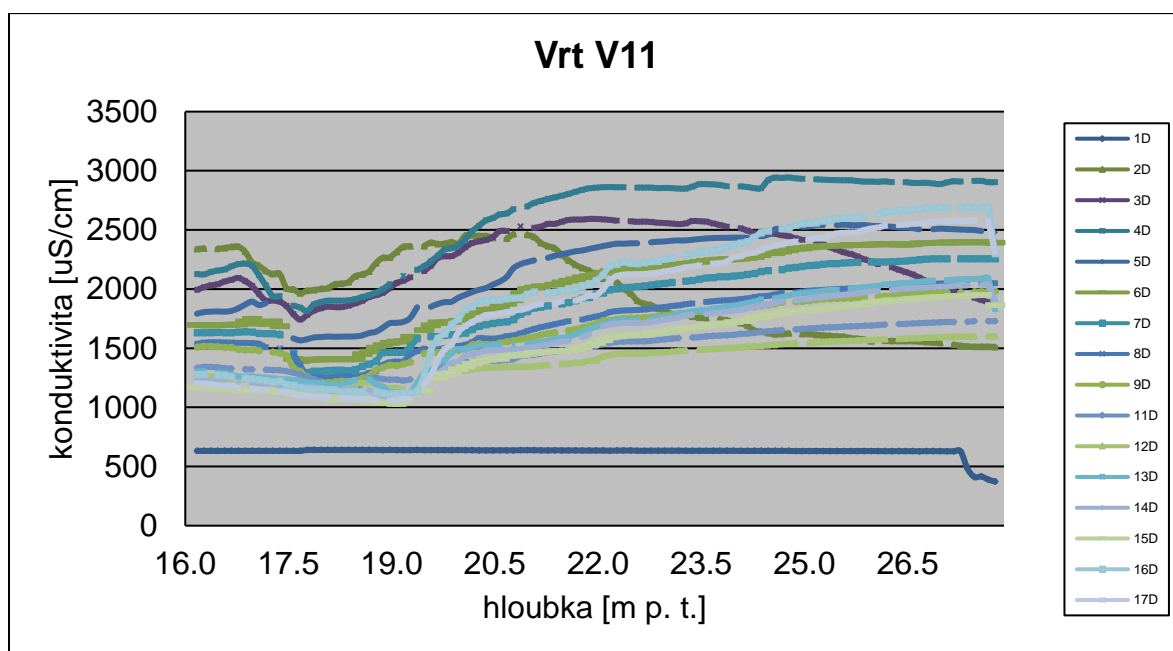
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
6,4	92	1,8
6,6	80	1,5
7,0	0,19	
7,2	0,19	
7,6	3	0,07



**Obrázek 50:** Ve vrtu V10 docházelo v hloubce 6,4 – 7,6 m k poklesu rychlosti proudění od 1,8 m/den na 0,07 m/den.

### Vrt V11

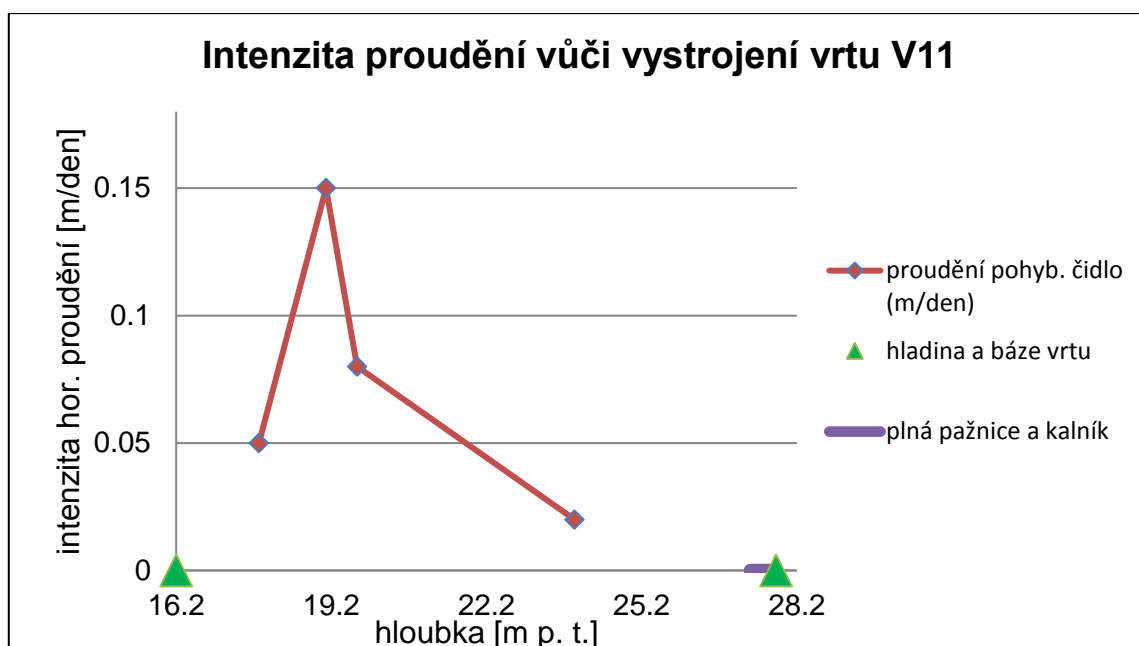
Ve vrtu V11 docházelo k relativně intenzivnějšímu ředění stopovače v hloubce 16,2 m – 19,7 m (Obrázek 51). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 100 – 103), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se s exponenciálním modelem v některých hloubkových úrovních příliš neshoduje. Od hloubky 16,2 m po hloubku 19,7 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje od 0,02 m/den až 0,15 m/den (tabulka 22, obrázek 52). Od hloubky 20 m až k bázi vrtu pravděpodobně voda proudí velmi pomalu nebo stagnuje. Prudký pokles konduktivity během prvních několika minut v hloubce 17,8 m je pravděpodobně způsoben vyrovnáváním koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu (obrázek 100, příloha 1).



**Obrázek 51:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V11 (28. 3. 2014). K intenzivnějšímu ředění stopovače docházelo v hloubce 16,2 - 19,7 m. Kalník se nachází v hloubce 27,3 – 27,8 m.

**Tabulka 22:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V11.

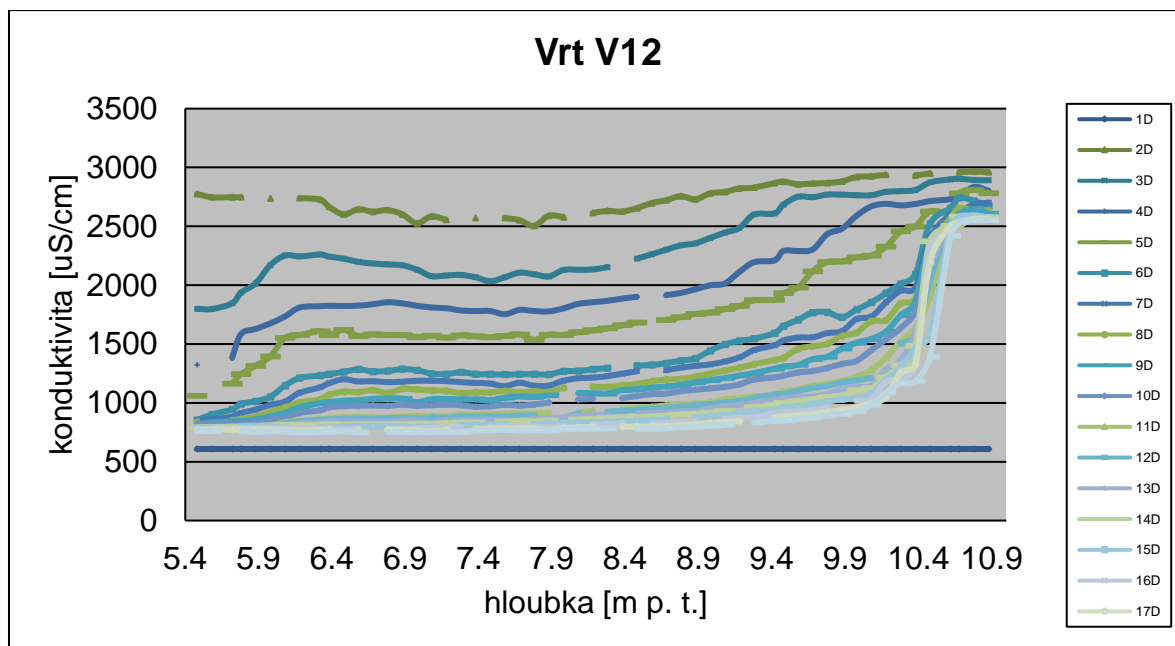
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
17,8	4	0,05
19,1	8	0,15
19,7	4	0,08
23,9	0,7	0,02



**Obrázek 52:** Ve vrtu V11 v hloubce 17,8 – 23,9 m se rychlost proudění pohybovala od 0,15 m/den na 0,02 m/den.

### Vrt V12

Ve vrtu V12 docházelo k ředění stopovače v hloubce 5,5 m – 10,2 m (Obrázek 53). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 1 (Obrázek 105 – 111), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase lze vyhodnotit pro dva exponenciální modely ve všech hloubkových úrovních. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 1 h od konce solení. Následně po 1 hod o dosažené konduktivitě v rozmezí 1000 - 1200 uS/cm dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 105 – 111, příloha 1). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hloubky 5,6 m po hloubku 10,0 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 5,6 m k bázi vrtu z 2,5 m/den na 0,5 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu se pohybuje od hloubky 5,6 m k bázi vrtu okolo 0,15 – 0,2 m/den (tabulka 23, obrázek 54). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

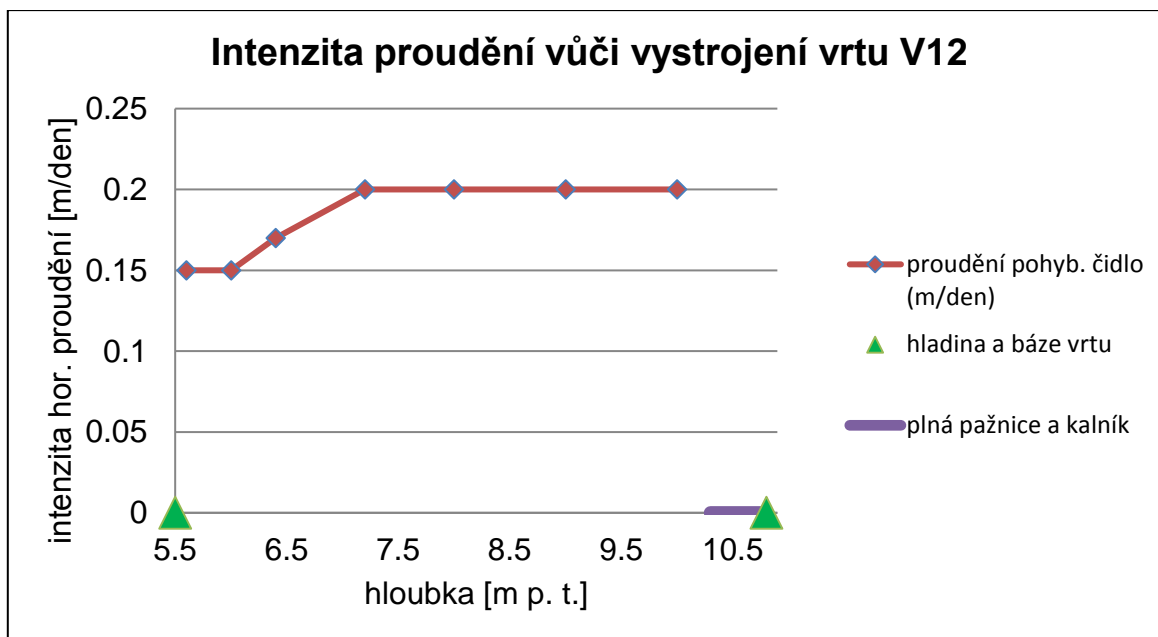


**Obrázek 53:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu V12 (19. 3. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 5,5 - 10,2 m. Kalník se nachází v hloubce 10,3 – 10,8 m.

**Tabulka 23:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V12. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
5,6	91 (5)	2,5 (0,15)
6,0	60 (5)	1,7 (0,15)
6,4	45 (6)	1,3 (0,17)
7,2	36 (7)	1 (0,2)
8,0	36 (7)	1 (0,2)
9,0	36 (7)	1 (0,2)
10	18 (7)	0,5 (0,2)





**Obrázek 54:** Ve vrtu V12 v hloubce 5,6 – 10,0 m se rychlost proudění pohybovala od 0,15 m/den na 0,2 m/den.

### 5. 1. 2. Výsledky z měření v Hradci Králové

Na lokalitě v Hradci Králové bylo celkem zrealizováno měření za přirozených podmínek proudění vody na pěti vrtech s označením MV1S, MV2S – H, MV3S – H (9. 5. 2014). Na vrtech MV1S, MV2S – H, MV3S – H bylo také uskutečněno měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu v období od 30.4 – 8. 5. 2014, které je popsáno v kapitole 5.4.2. Bližší informace o uskutečněných měřeních na vrtech MV1S, MV2S – H, MV3S – H jsou uvedeny v tabulce 24. Vrtý s označením MV jsou vystrojeny pažnicí, která buď komunikuje s horní zvodní a pažnicí komunikující se zvodní spodní. Dále jsou tedy vrtý označovány podle toho, s kterou zvodní komunikují (S – komunikace se spodní zvodní, H – komunikace s horní zvodní). Vrt CV1 propojuje horní i spodní zvedň, a proto byly zvodně v průběhu metody ředění označené kapaliny rozděleny pakrem.

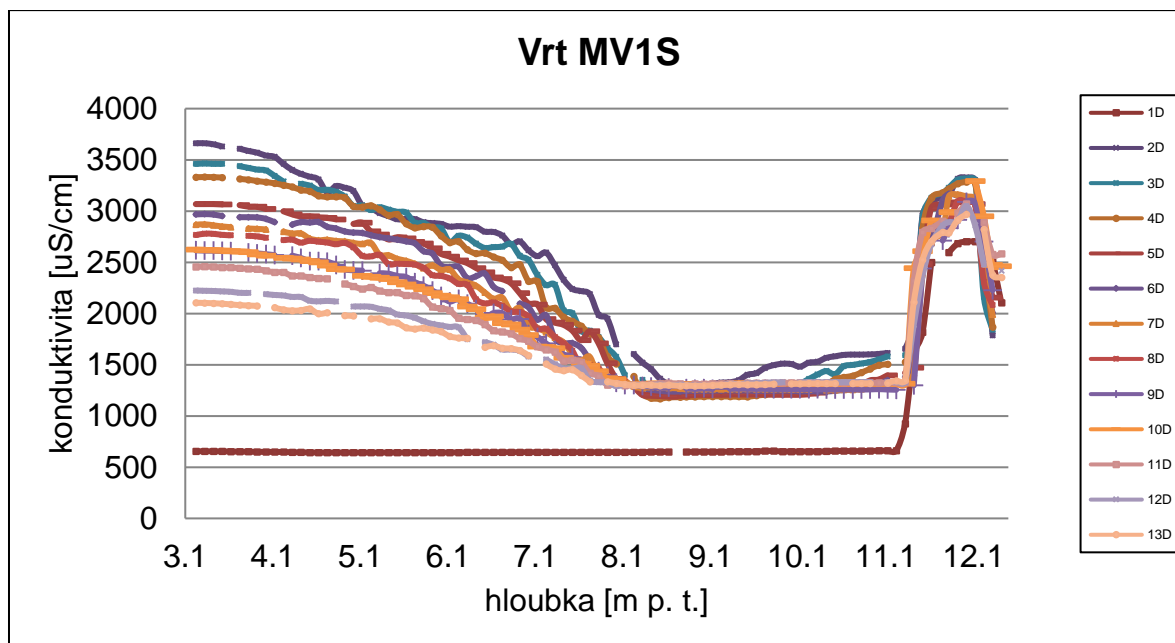
**Tabulka 24:** Měření na vrtech MV1S, MV2S – H, MV3S – H na lokalitě Hradec Králové metodou ředění označené kapaliny s pohyblivým LTC čidlem.

Vrt	Datum měření (2014)	HPV (m p. t.)	Hloubkový rozsah měření (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Navýšená konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
MV1S	9.5.	3,22	3,3 – 12,4	180	60	650	3400
MV2S	9.5.	3,27	3,3 – 13,8	180	60	600	3000
MV2H	9.5.	3,27	3,4 – 6,3	180	60	680	3500
MV3S	9.5.	3,27	3,3 – 11,9	180	60	620	3300
MV3H	9.5.	3,28	3,3 – 6,1	180	60	640	2400

Při měření pohyblivým čidlem se ukázalo, že průtoky a rychlosti proudění mají tak nízkou hodnotu, že po zasolení vrtu bylo ředění stopovače pomalejší, než transport stopovače ve vrtu díky pohybu čidla. Počáteční konduktivita byla vyšší v úsecích s plnou pažnicí než v perforovaných částech vrtu, což mělo za následek, že pohyb čidla během měření způsobil snížení konduktivity v úsecích s plnou pažnicí a naopak postupně zvyšoval konduktivitu v úsecích s perforovanou pažnicí. Celkově pak díky pohybu čidla docházelo k překrývání křivek z různých časových úseků (např. viz. Obrázek 55). Záznamy měření z metody ředění označené kapaliny se nacházejí v příloze 2 (Obrázek 119 – 141).

### MV1S

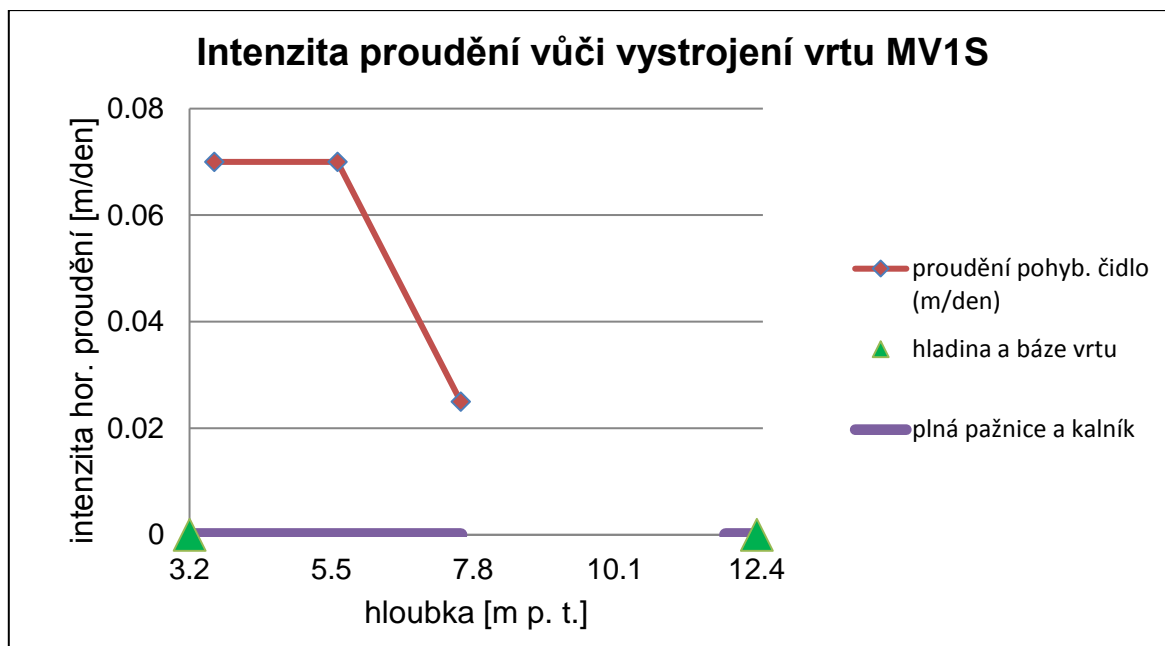
Ve vrtu MV1S docházelo k ředění stopovače v hloubce 3,1 m – 8,1 m, v hloubce 8,2 m – 11,4 m docházelo paradoxně k tomu, že konduktivita se zvyšovala díky přínosu stopovače z úseků s plnou pažnicí díky pohybu čidla (Obrázek 55). Ze záznamu z metody ředění označené kapaliny je také jasně patrné, že ve spodní části vrtu (pod 11,4 m) nedošlo k úplnému vymytí stopovače díky předchozímu zasolení z měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu (Obrázek 55). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 2 (Obrázek 120 – 122), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hloubky 3,6 m po hloubku 7,6 m bylo zjištěno ve vrtu zdánlivé samovolné horizontální proudění. Intenzita zdánlivého proudění se pohybuje od hloubky 3,6 m k bázi vrtu od 0,07 m/den až 0,025 m/den (tabulka 25, obrázek 56).



**Obrázek 55:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu MV1S (9. 5. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 3,1 - 8,1 m. V hloubce 8,2 – 11,4 m se konduktivita s časem zvyšovala. Kalník se nachází v hloubce 11,9 – 12,4 m.

**Tabulka 25:** Rychlost zdánlivého horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu MV1S.

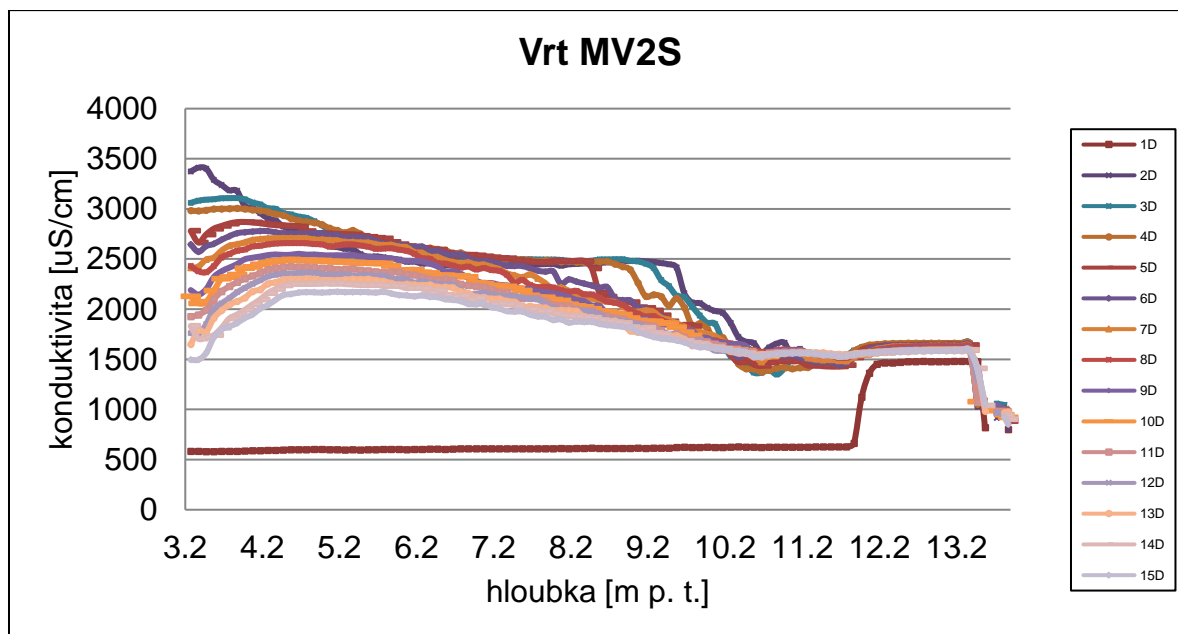
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
3,6	3,6	0,07
5,6	3,6	0,07
7,6	1,3	0,025



**Obrázek 56:** Ve vrtu MV1S v hloubce 3,6 – 7,6 m se zdánlivá rychlost proudění pohybovala od 0,07 m/den na 0,025 m/den.

## MV2S

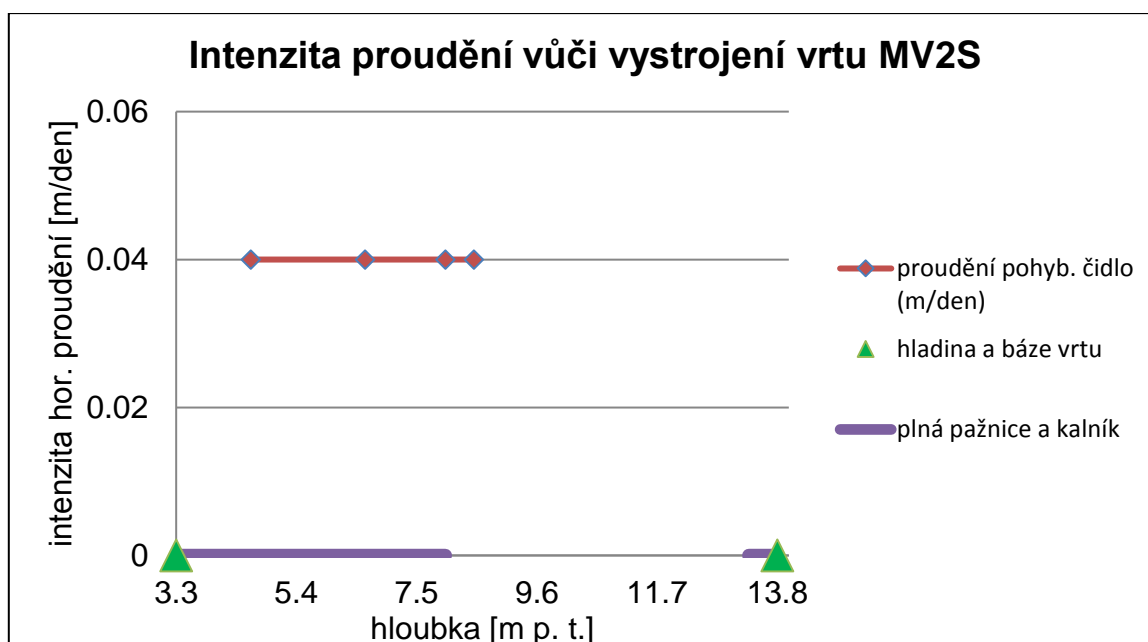
Ve vrtu MV2S docházelo k ředění stopovače v hloubce 3,2 m – 8,5 m, v hloubce 8,6 m – 11,9 m docházelo paradoxně k tomu, že konduktivita se zvyšovala díky přínosu stopovače z úseků s plnou pažnicí díky pohybu čidla (Obrázek 57). Ze záznamu z metody ředění označené kapaliny je také jasně patrné, že ve spodní části vrtu (pod 11,4 m) nedošlo k úplnému vymytí stopovače díky předchozímu zasolení z měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu (obrázek 57). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 2 (Obrázek 124 – 127), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hloubky 4,6 m po 8,5 m bylo zjištěno ve vrtu zdánlivé samovolné horizontální proudění. Intenzita zdánlivého proudění od hloubky 4,6 m k bázi vrtu je 0,04 m/den (tabulka 26, obrázek 58).



**Obrázek 57:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu MV2S (9. 5. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 3,2 - 8,5 m. V hloubce 8,6 – 11,9 m se konduktivita s časem zvyšovala. Kalník se nachází v hloubce 13,3 – 13,8 m.

**Tabulka 26:** Rychlost zdánlivého horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu MV2S.

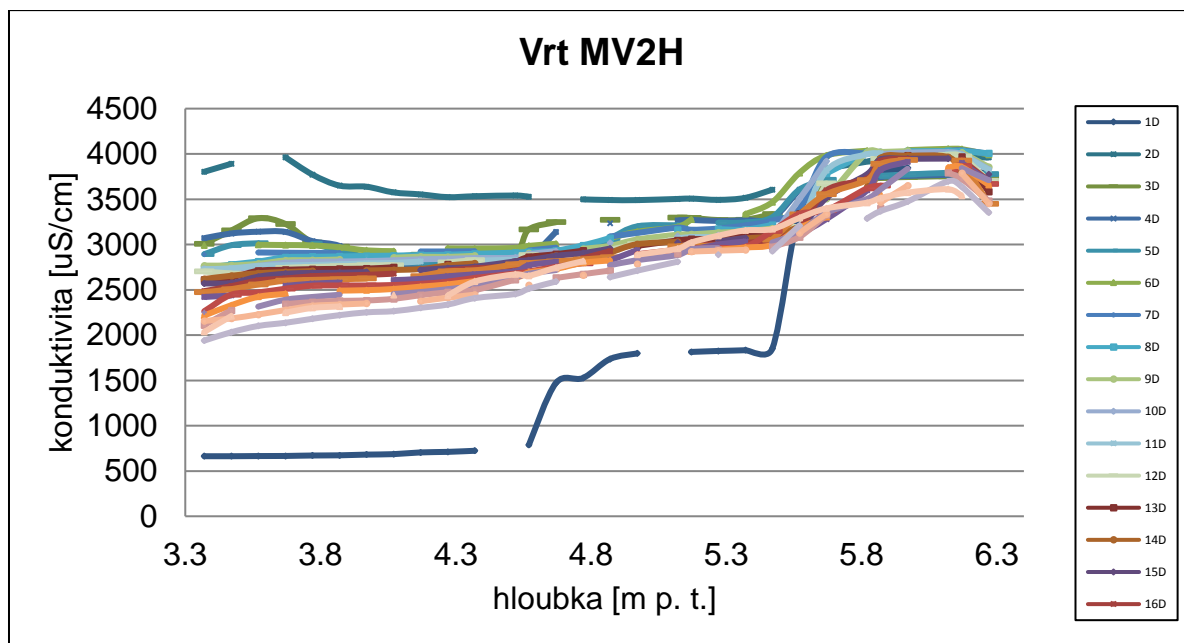
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
4,6	2	0,04
6,6	2	0,04
8,5	2	0,04



**Obrázek 58:** Ve vrtu MV2S v hloubce 4,6 – 8,5 m byla zdánlivá rychlost proudění 0,04 m/den.

## MV2H

Ve vrtu MV2H docházelo k ředění stopovače v hloubce 3,3 m – 5,5 m (Obrázek 58). Ze záznamu metody ředění označené kapaliny je jasně patrné, že z úseku plné pažnice (od 5,6 m) dochází k odnosu stopovače díky pohybu čidla (viz. Obrázek 58). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 2 (Obrázek 129 – 131), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hloubky 3,7 m po hloubku 5,4 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje od hloubky 3,7 m k bázi vrtu od 0,05 m/den až 0,035 m/den (tabulka 27, obrázek 59).

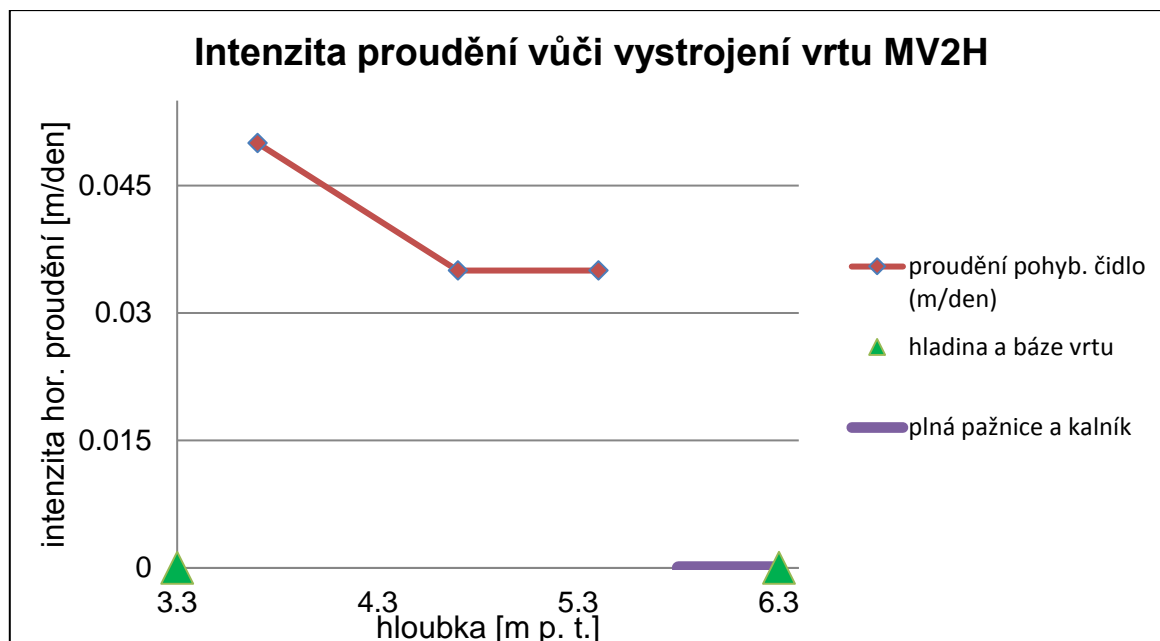


**Obrázek 58:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu MV2H (9. 5. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 3,3 - 5,5 m. Kalník se nachází v hloubce 5,8 – 6,3 m.

**Tabulka 26:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu MV2H.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
3,7	2,8	0,05
4,7	2	0,035
5,4	2	0,035

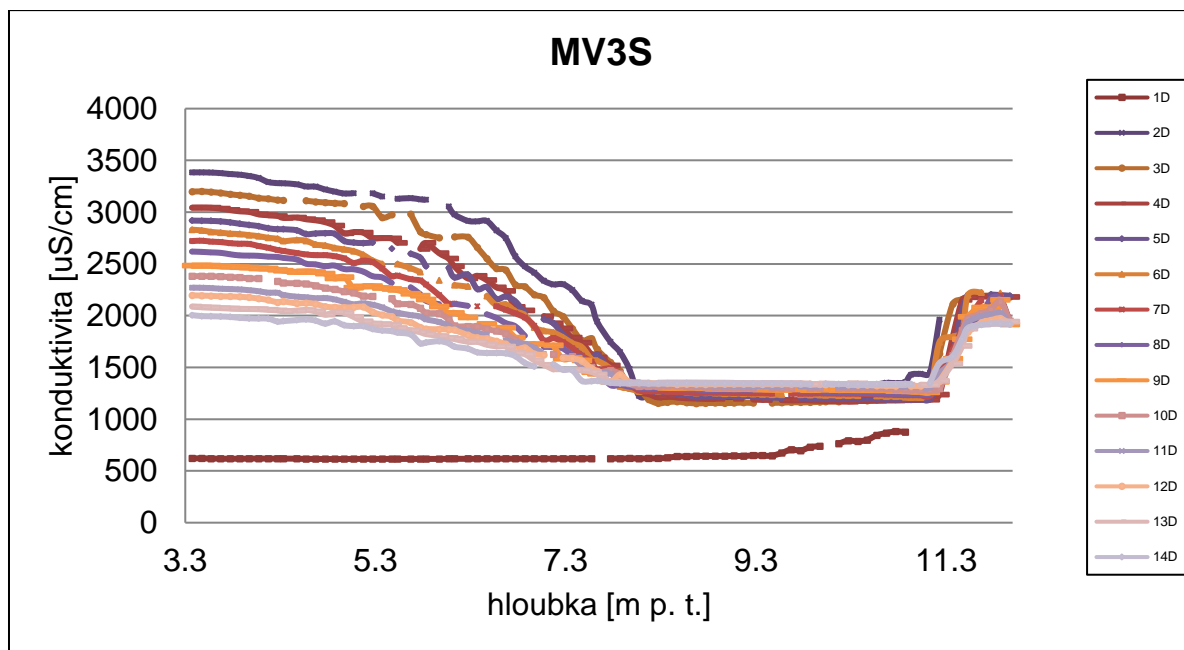




**Obrázek 59:** Ve vrtu MV2H v hloubce 3,7 – 5,4 m klesla rychlost proudění z 0,05 m/den na 0,035 m/den.

### MV3S

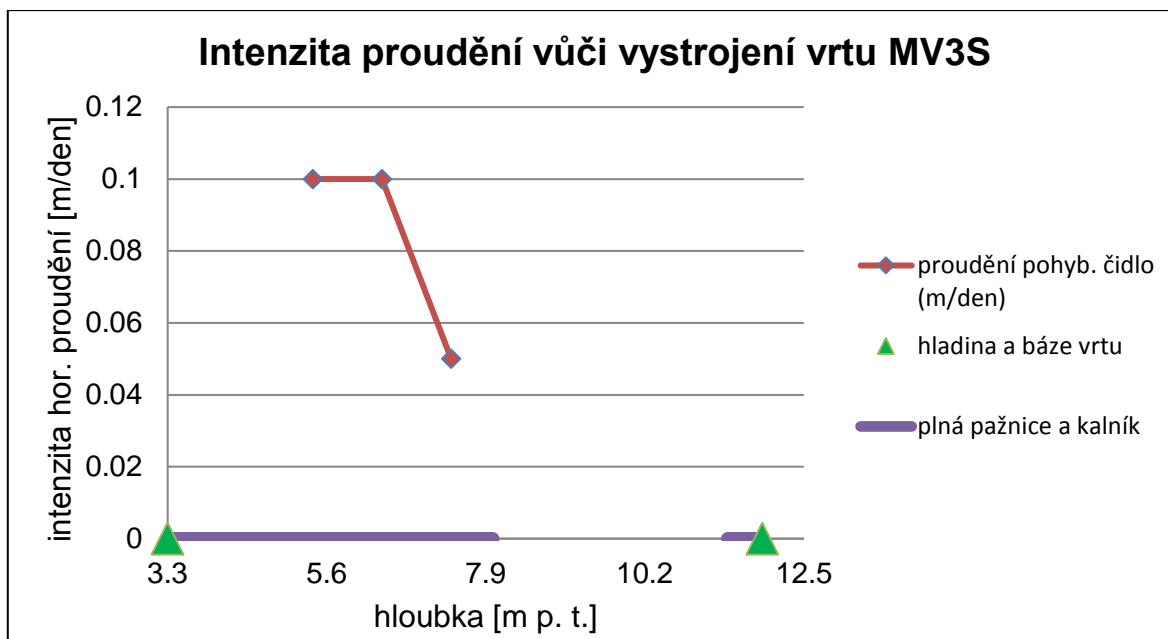
Ve vrtu MV3S docházelo k ředění stopovače v hloubce 3,3 m – 7,8 m, v hloubce 7,9 m – 11,3 m docházelo paradoxně k tomu, že konduktivita se zvyšovala díky přínosu stopovače z úseků s plnou pažnicí díky pohybu čidla (Obrázek 60). Ze záznamu z metody ředění označené kapaliny je také jasně patrné, že ve spodní části vrtu (pod 11,4 m) nedošlo k úplnému vymytí stopovače díky předchozímu zasolení z měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu (Obrázek 60). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 2 (Obrázek 133 – 136), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hloubky 5,4 m po hloubku 7,4 m bylo zjištěno ve vrtu zdánlivé horizontální proudění. Intenzita zdánlivého proudění se pohybuje od hloubky 5,4 m k bázi vrtu od 0,1 m/den až 0,5 m/den (tabulka 27, obrázek 61).



**Obrázek 60:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu MV3S (9. 5. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 3,3 - 7,8 m. V hloubce 7,9 – 11,3 m se konduktivita s časem zvyšovala. Kalník se nachází v hloubce 11,4 – 11,9 m.

**Tabulka 27:** Rychlost zdánlivého horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu MV3S.

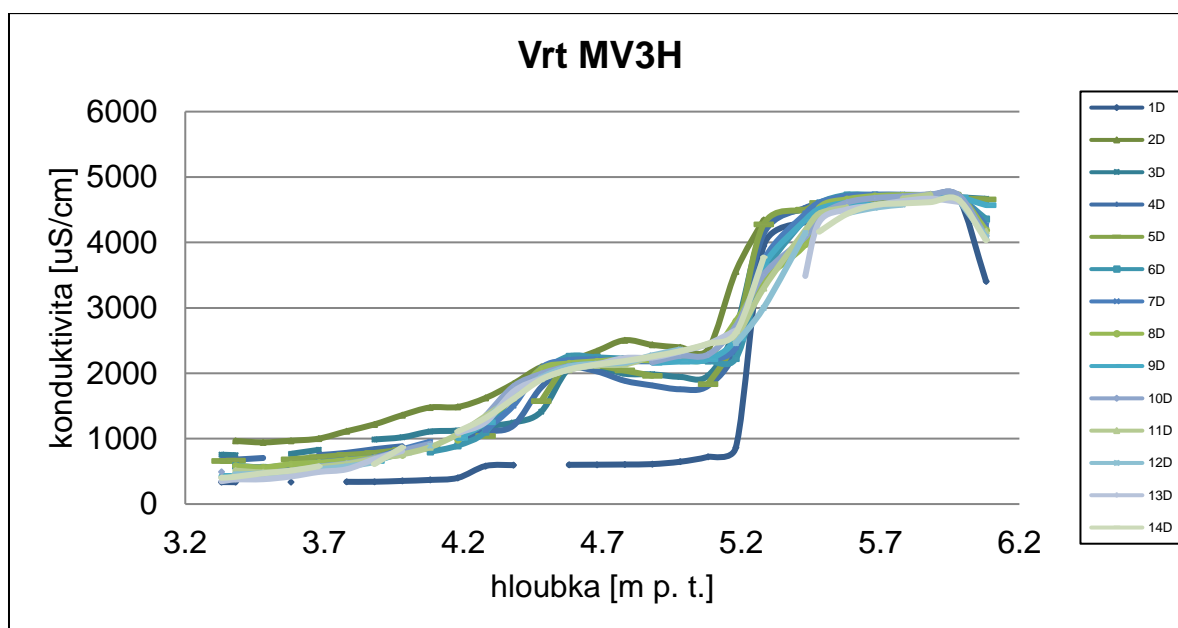
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
5,4	5,6	0,1
6,4	6	0,1
7,4	2,8	0,05



**Obrázek 61:** Ve vrtu MV3S v hloubce 5,4 – 7,4 m klesla zdánlivá rychlost proudění z 0,1 m/den na 0,05 m/den.

### MV3H

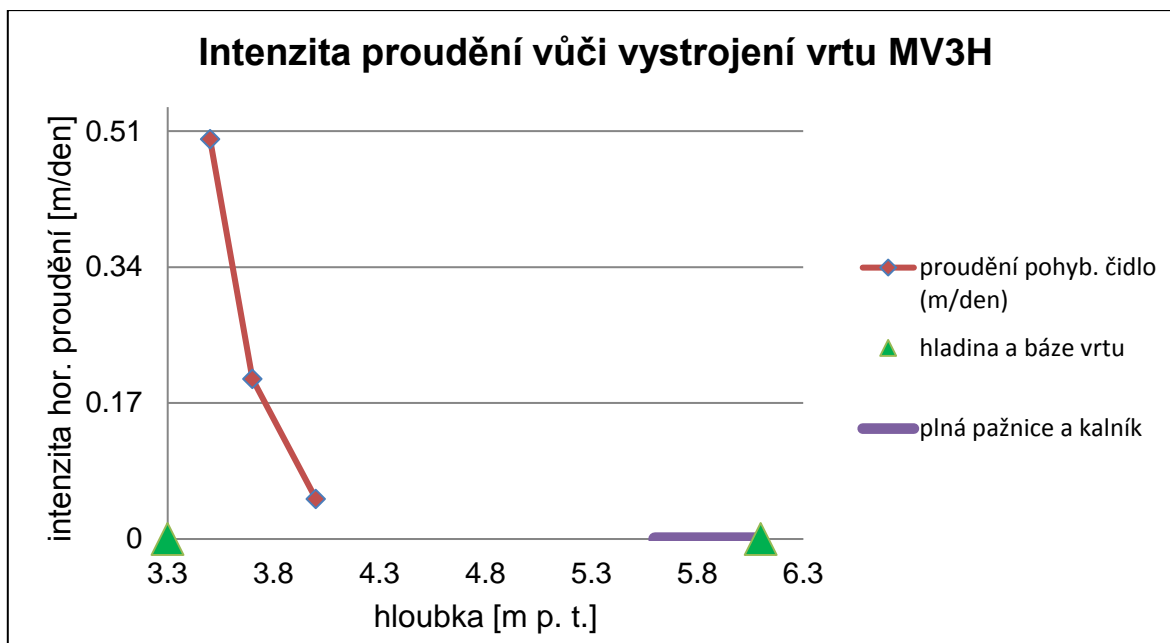
Ve vrtu MV3H docházelo k ředění stopovače v hloubce 3,3 m – 4,4 m, v hloubce 4,5 m – 5,2 m docházelo paradoxně k tomu, že konduktivita se zvyšovala díky přínosu stopovače z úseků s plnou pažnicí díky pohybu čidla (Obrázek 62). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 2 (Obrázek 138 – 141), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hloubky 3,5 m po hloubku 4,0 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje od hloubky 3,5 m do hloubky 4,0 m vrtu od 0,5 m/den až 0,05 m/den (tabulka 28, obrázek 63)



**Obrázek 62:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu MV3H (9. 5. 2014). K ředění stopovače docházelo v hloubce 3,3 - 4,4 m. V hloubce 4,3 – 5,2 m se konduktivita s časem zvyšovala. Kalník se nachází v hloubce 5,6 – 6,1 m.

**Tabulka 28:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu MV3H.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
3,5	30	0,5
3,7	10	0,2
4,0	2,6	0,05



**Obrázek 63:** Ve vrtu MV3H v hloubce 3,5 – 4,0 m klesla rychlost proudění z 0,5 m/den na 0,05 m/den.

### 5. 1. 3. Výsledky z měření v Černé za Bory

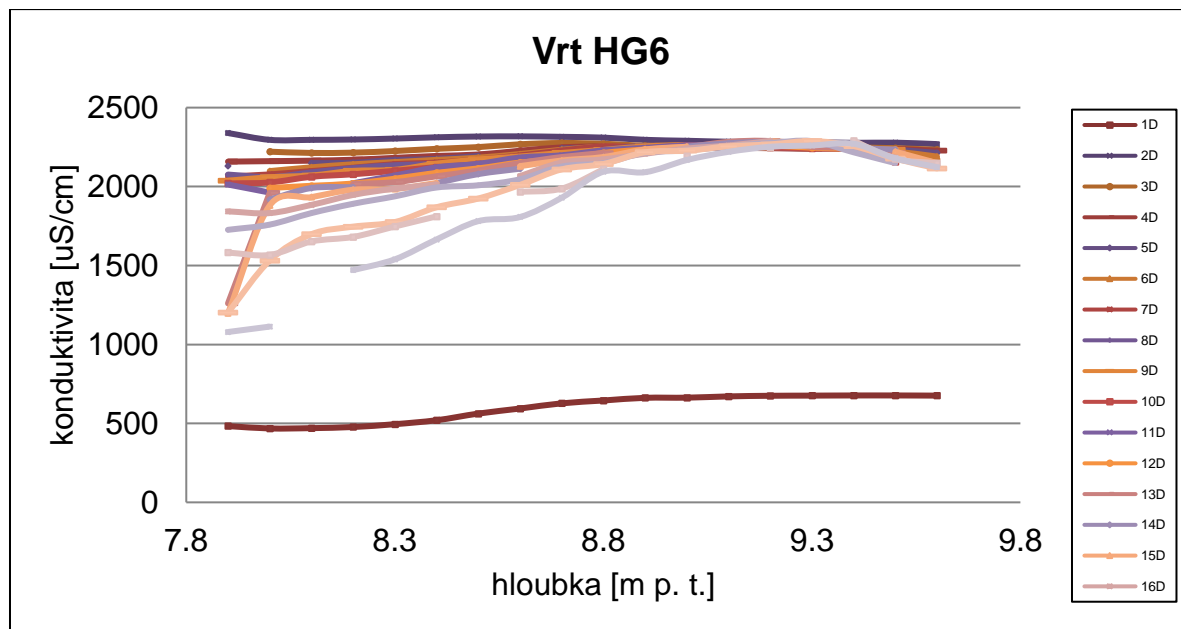
Na lokalitě Černá za Bory bylo zrealizováno měření pohyblivým čidlem (19. 8. 2015) na vrtu HG6 současně s měřením na stabilních bodech, které je popsáno v kapitole 5.4.3. Záznamy měření z metody ředění označené kapaliny se nacházejí v příloze 3 (Obrázek 142 - 146). Bližší informace o uskutečněném měření je uvedeno v tabulce 29.

**Tabulka 29:** Měření na vrtu HG6 na lokalitě Černá za Bory metodou ředění označené kapaliny s pohyblivým LTC čidlem bez upravené geometrie tvaru.

Vrt	Datum měření (2015)	HPV (m p. t.)	Hloubkový rozsah měření (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita (μS/cm)	Navýšená konduktivita (μS/cm)
HG6	19.8.	7,87	7,9 – 8,6	9	50	500 - 800	2300

Ve vrtu HG6 docházelo k ředění stopovače v hloubce 7,9 m – 9,0 m (Obrázek 64). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 3 (Obrázek 143 – 146), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních s výjimkou hloubky 7,9m, kde exponenciální model příliš charakter ředění nevystihuje. Od hloubky 7,9 m po hloubku 8,8 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné

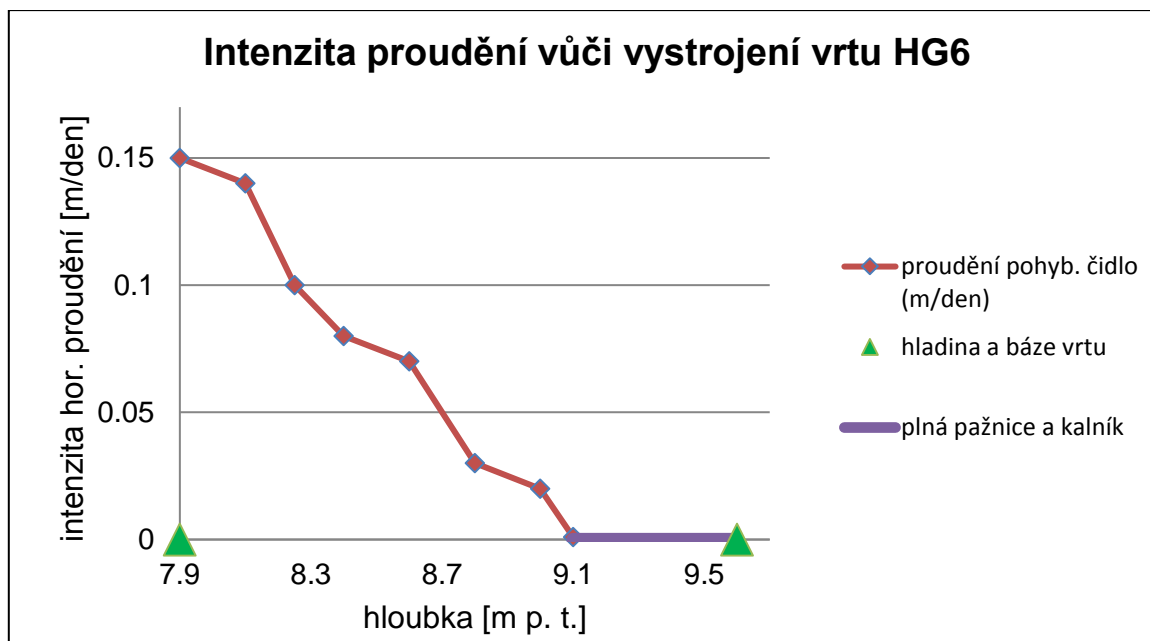
horizontální proudění. Intenzita proudění klesá od hloubky 7,9 m k bázi vrtu od 0,15 m/den až 0,03 m/den (tabulka 30, obrázek 65).



**Obrázek 64:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu HG6 (19. 8. 2015). K ředění stopovače docházelo v hloubce 7,9 - 9,0 m. Kalník se nachází v hloubce 9,1 – 9,6 m.

**Tabulka 30:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu HG6.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
7,9	6	0,15
8,1	5	0,14
8,4	3	0,08
8,8	0,9	0,03



**Obrázek 65:** Ve vrtu HG6 v hloubce 7,9 – 8,8 m klesla rychlost proudění z 0,15 m/den na 0,03 m/den.

#### 5. 1. 4. Výsledky z měření v Lanškrouně

Na lokalitě Lanškroun bylo zrealizováno měření na jednom vrtu s označením HV201. Na vrtu HV201 bylo nejprve provedeno měření za vynucených podmínek (čerpání 0,014 l/sec v hloubce 15 m) dne 23. 7. 2014, následující den se uskutečnilo měření za přirozeného proudění ve vrtu. Záznamy měření z metody ředění označené kapaliny se nacházejí v příloze 4 (Obrázek 147 – 156). Bližší informace o uskutečněných měřeních jsou uvedeny v tabulce 31 – 32.

**Tabulka 31:** Měření na vrtu HV201 na lokalitě Lanškroun metodou ředění označené kapaliny s pohyblivým LTC čidlem za vynucených podmínek (čerpání).

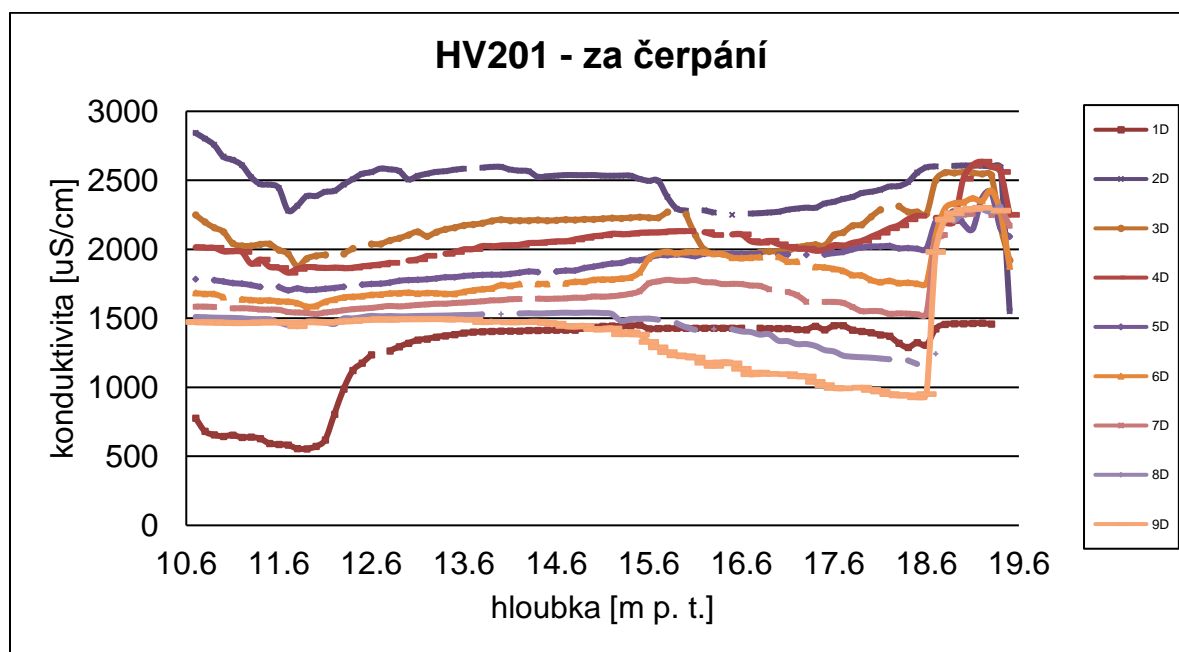
Vrt	Datum měření (2014)	HPV (m p. t.)	Hloubkový rozsah měření (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita (μS/cm)	Navýšená konduktivita (μS/cm)
HV201	23.7	10,54	10,7 -19,4	5	200	700 - 1400	2800

**Tabulka 32:** Měření na vrtu HV201 na lokalitě Lanškroun metodou ředění označené kapaliny s pohyblivým LTC čidlem za přirozeného proudění vody ve vrtu.

Vrt	Datum měření (2014)	HPV (m p. t.)	Hloubkový rozsah měření (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Navýšená konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
<b>HV201</b>	24.7	10,66	10,7 -19,4	6	300	1300 - 2300	3900

#### Měření za vynucených podmínek (čerpání)

Ve vrtu HV201 docházelo k ředění stopovače v hloubce 10,6 m –19,6 m (Obrázek 66). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 4 (Obrázek 148 – 151), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hloubky 10,6 m po hloubku 18,6 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje od 0,6 m/den až 0,2 m/den (tabulka 33, obrázek 67). Slabá intenzita čerpání zřejmě výrazně nezměnila horizontální průtok vody vrtem ve srovnání s prouděním za přirozeného stavu (obr. 68).

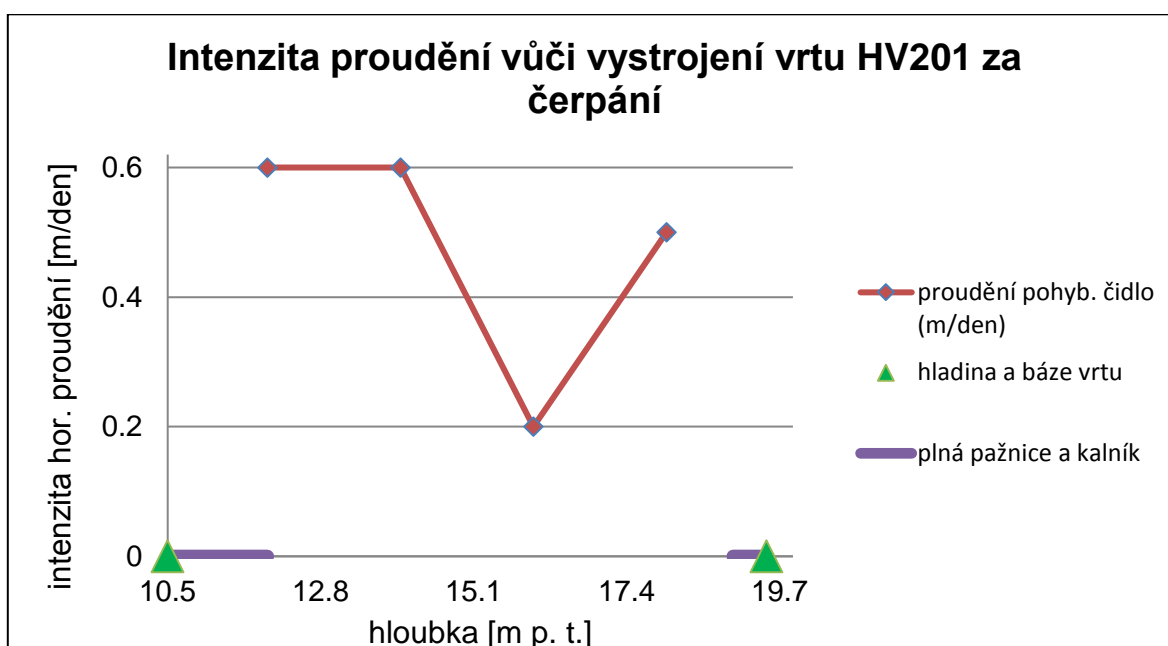


**Obrázek 66:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu HV201 (23. 7. 2014) za vynucených podmínek. K ředění stopovače docházelo v hloubce 10,6 - 19,6 m. Kalník se nachází v hloubce 19,0 – 19,5 m.



**Tabulka 33:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu HV201 za čerpání.

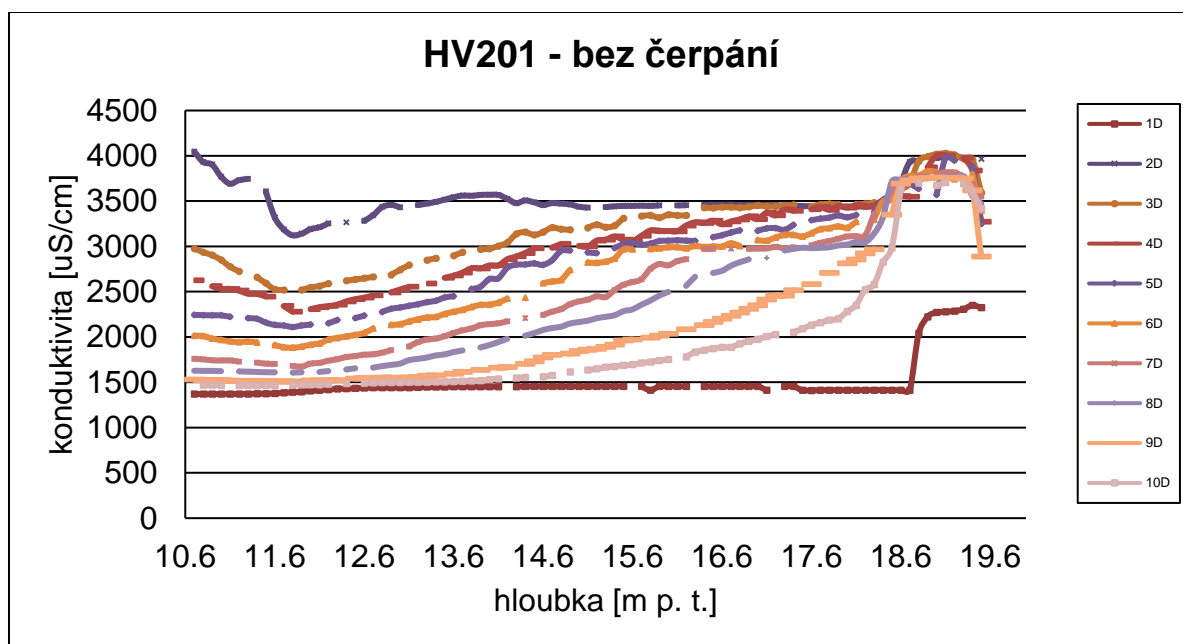
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
12	21	0,6
14	21	0,6
16	7	0,2
18	18	0,5



**Obrázek 67:** Ve vrtu HV201 v hloubce 12 – 18 m se pohybovala rychlost proudění od 0,6 m/den až k 0,2 m/den za čerpání.

#### Měření za přirozených podmínek (bez čerpání)

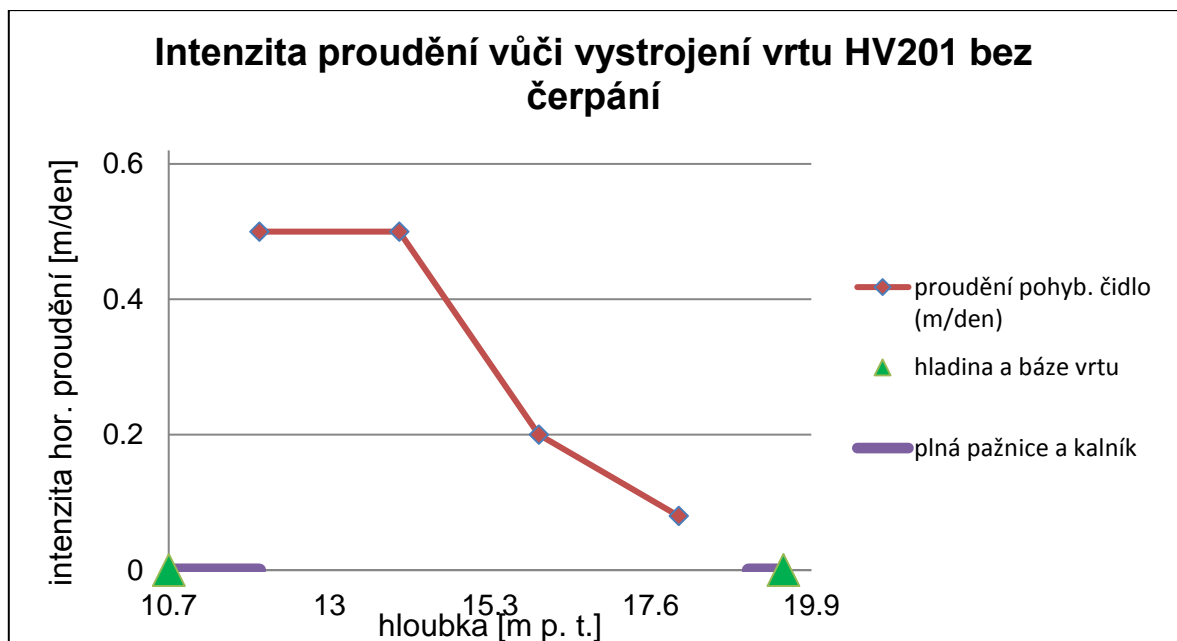
Ve vrtu HV201 docházelo k ředění stopovače v hloubce 10,6 m – 19,6 m (Obrázek 68). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 4 (Obrázek 153 – 156), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hloubky 10,6 m po hloubku 18,6 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění klesá od hloubky 12 m k bázi vrtu od 0,5 m/den až 0,08 m/den (tabulka 34, obrázek 69). Výrazným rozdílem oproti záznamu za čerpání je malá intenzita proudění v hloubce 18 m, jinak se intenzita proudění příliš neliší.



**Obrázek 68:** Záznam hodnot naměřených čidlem ve vrtu HV201 (24. 7. 2014) za přirozeného proudění. K ředění stopovače docházelo v hloubce 10,6 - 19,6 m. Kalník se nachází v hloubce 19,0 – 19,5 m.

**Tabulka 34:** Rychlost proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu HV201 bez čerpání.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
12	18	0,5
14	18	0,5
16	7	0,2
18	3	0,08



**Obrázek 69:** Ve vrtu HV201 v hloubce 12 – 18 m klesala rychlost proudění od 0,5 m/den až k 0,08 m/den bez čerpání.

### 5. 3. Výsledky z měření s upraveným LTC čidlem

Na lokalitě Káraný bylo v rámci hydrogeologického kurzu v období 2. – 5. 6. 2016 zrealizováno měření za přirozených podmínek proudění vody na čtyřech vybraných vrtech s označením V02, V03, V09 a V10. Na těchto vrtech byla použita měřicí sonda s upravenou geometrií tvaru, na rozdíl od ostatních doposud provedených měření (z období 14. – 28. 3. 2014). Záznamy měření z metody ředění označené kapaliny se nacházejí v příloze 5 (Obrázek 157 – 185). Bližší informace o uskutečněném měření na vrtech V02, V03, V09 a V10 jsou uvedeny v tabulce 35.

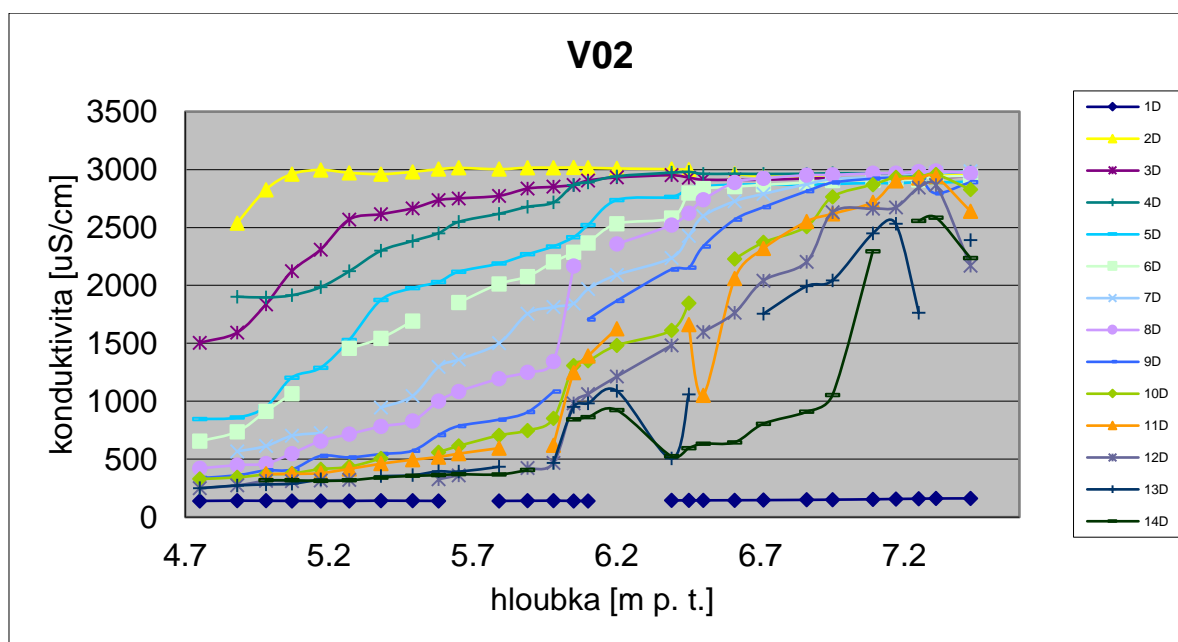
**Tabulka 35:** Měření na vrtech V01 – V12 na lokalitě Káraný metodou ředění označené kapaliny s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií tvaru okolo měřicí šterbiny.

Vrt	Datum měření (2016)	HPV (m p. t.)	Hloubkový rozsah měření (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita (μS/cm)	Navýšená konduktivita (μS/cm)
V02	2.6.	4,71	4,8 – 7,5	5	100	150	2900
V03	4.6.	6,52	6,7 – 10,3	4,5	100	815	2600
V09	5.6.	4,99	5,1 – 8,8	4	130	620	3000
V10	3.6.	6,07	6,2 – 8,2	5	50	420	1700

## Vrt V02

Ve vrtu V02 docházelo k ředění stopovače v hloubce 4,4 m – 7,7 m (Obrázek 70). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 5 (Obrázek 158 – 162), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce od 5,8 m – 6,8 m. V hloubce 4,8 m – 5,3 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 1 h od konce solení. Následně po 1 hod o dosažené konduktivitě v rozmezí 730 - 830 uS/cm dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 158 – 159, příloha 5). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hladiny 4,8 m po hloubku 6,8 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 4,8 m k bázi vrtu z 2 m/den na 0,05 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu klesá od hloubky 4,8 m – 5,3 m z 0,7 m/den na 0,55 m/den (tabulka 36, obrázek 71). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považuji hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

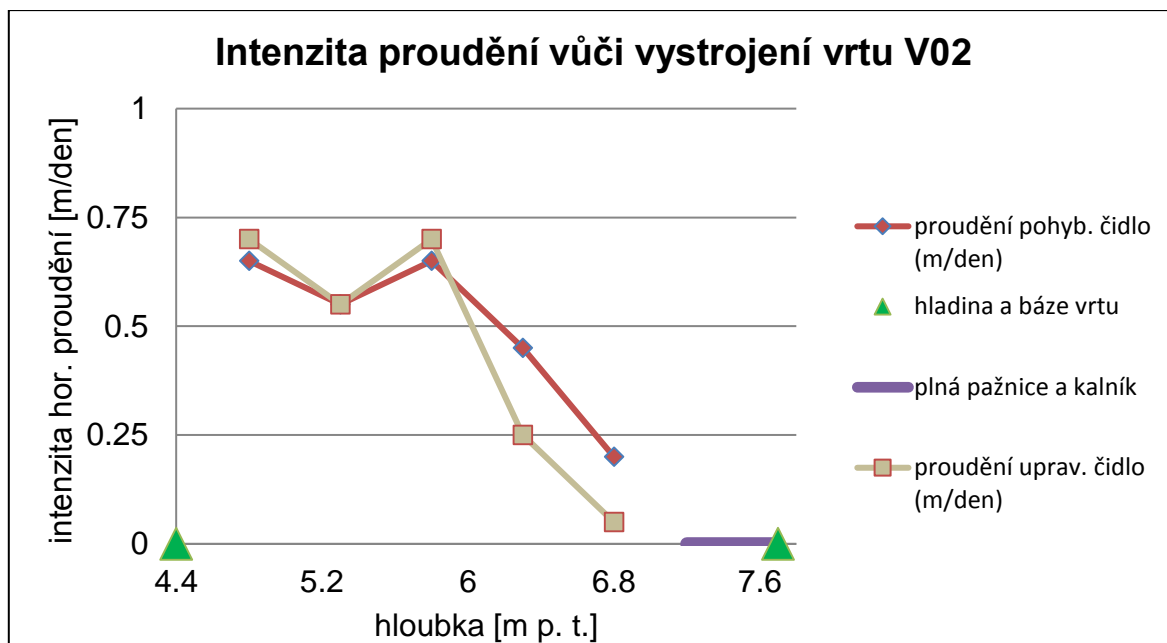
Ze srovnání dvou různých metod (pohyblivé čidlo s původní a upravenou geometrií) je jasné patrné, že v horním úseku 4,8 – 5,8 m dochází ke stejně rychlému poklesu konduktivity, na který navazuje v obou případech pomalejší pokles. Avšak od úseku 6,3 m do hloubky 6,8 m jsou průtoky a rychlosti proudění větší u měření bez upravené geometrie měřicí sondy. Z vyhodnocení pro pozvolný poklesový úsek jsou intenzity proudění shodné u obou typů měření (tabulka 36).



**Obrázek 70:** Záznam hodnot naměřených LTC čidlem s upravenou geometrií ve vrtu V02 (2. 6. 2016) za přirozeného proudění. K ředění stopovače docházelo v hloubce 4,4 - 7,7 m. Kalník se nachází v hloubce 7,2 – 7,7 m.

**Tabulka 36:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V02 za měření s upravenou geometrií sondy a bez úpravy. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
4,8	2 (0,7)	2 (0,65)	76 (24)	73 (23)
5,3	1,3 (0,55)	1,3 (0,55)	45 (19)	46 (19)
5,8	0,7	0,8 (0,65)	24	28 (24)
6,3	0,25	0,45	8	17
6,8	0,05	0,2	2	7,3



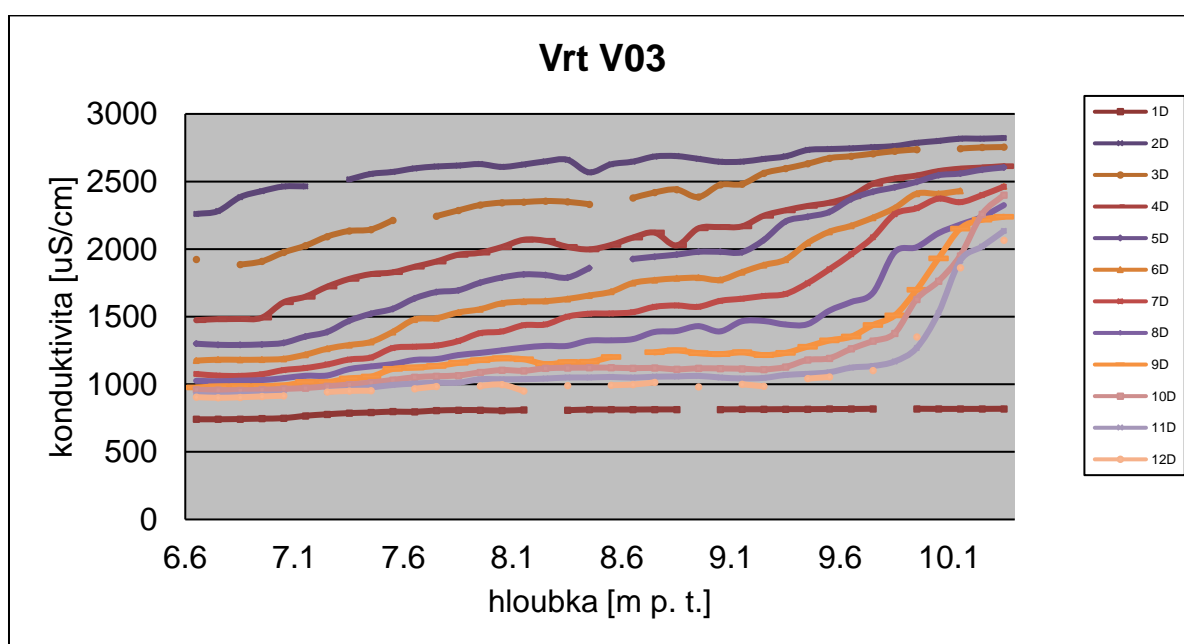
**Obrázek 71:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V02 metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 4,8 m – 6,8 m.

### Vrt V03

Ve vrtu V03 docházelo k ředění stopovače v hloubce 6,6 m – 10,2 m (Obrázek 72). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 5 (Obrázek 166 – 170), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce pouze v hloubce 9,2 m. V hloubce 7,2 m – 8,4 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 30 min od konce solení. Následně po 30 min o dosažené konduktivitě v rozmezí 1300 - 1800 uS/cm dochází ke zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 166 – 169, příloha 5). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hloubky 7,2 m po hloubku 9,2 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 7,2 m k bázi vrtu z 2,1 m/den na 0,6 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu se pohybuje od hloubky 7,2 m – 8,4 m v rozmezí 0,3 – 0,4 m/den (tabulka 37, obrázek 73). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu,

jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

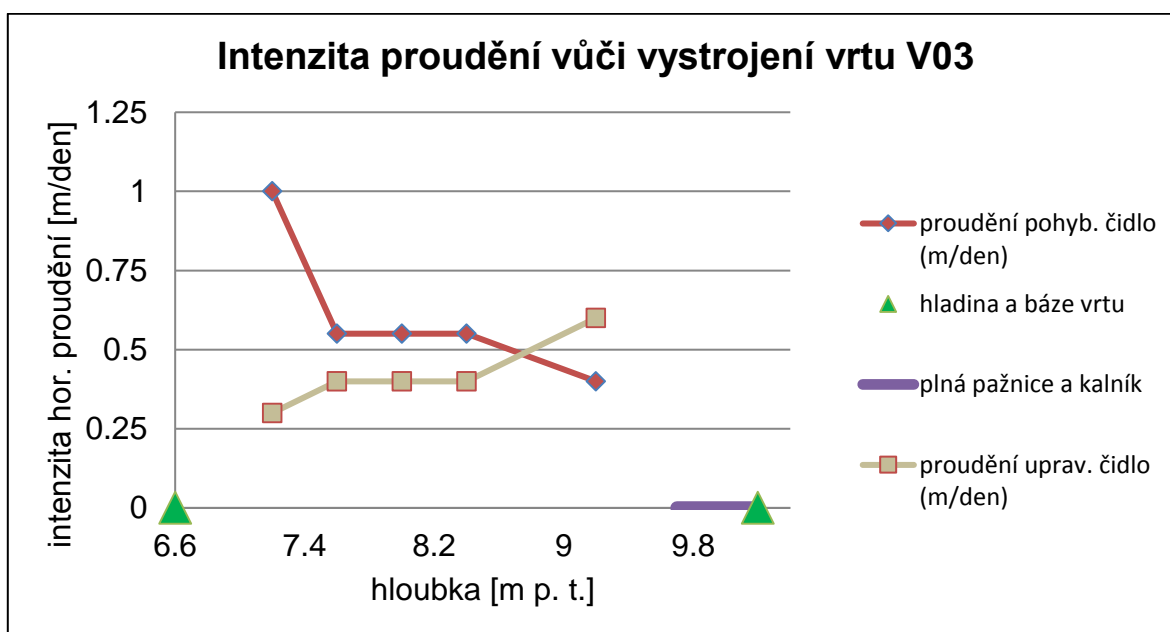
Ze srovnání dvou různých metod (pohyblivé čidlo s původní a upravenou geometrií) je jasné patrné, že v horním úseku 6,8 – 8,0 m dochází ke stejné rychlému poklesu konduktivity, na který navazuje v obou případech pomalejší pokles. Avšak od úseku 8,4 m do hloubky 9,2 m jsou interpretované průtoky a rychlosti proudění dvakrát větší u měření s upravenou geometrií měřicí sondy. Z vyhodnocení pro pozvolný poklesový úsek jsou intenzity proudění shodné u obou typů měření od hloubky 7,6 m. V hloubce 7,2 m je intenzita proudění větší u měřicí sondy bez upravené geometrie.



**Obrázek 72:** Záznam hodnot naměřených čidlem s upravenou geometrií ve vrtu V03 (4. 6. 2016) za přirozeného proudění. K ředění stopovače docházelo v hloubce 6,6 - 10,2 m. Kalník se nachází v hloubce 9,7 – 10,2 m.

**Tabulka 37:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V03 za měření s upravenou geometrií sondy a bez úpravy. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
7,2	2,1 (0,3)	1,7 (1)	73 (10)	61 (33)
7,6	1,6 (0,4)	1,5 (0,55)	56 (12)	52 (19)
8,0	1,3 (0,4)	1 (0,55)	45 (12)	33 (19)
8,4	1,3 (0,4)	0,55	45 (12)	19
9,2	0,6	0,4	21	17



**Obrázek 73:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V03 metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 7,2 m – 9,2 m.

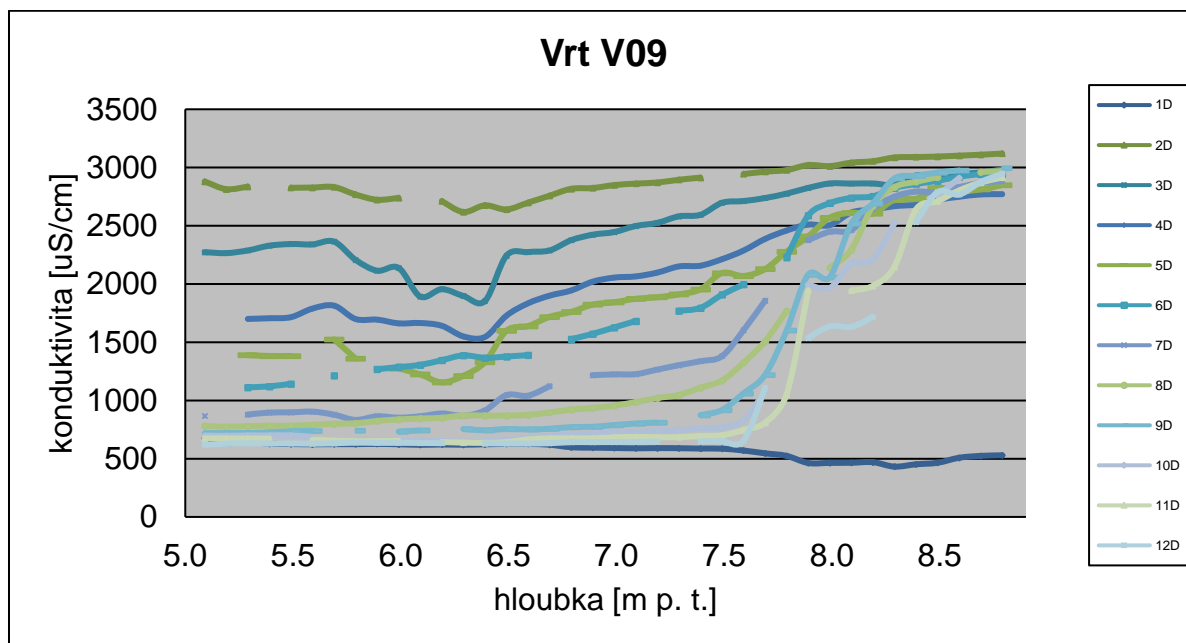
### Vrt V09

Ve vrtu V09 docházelo k ředění stopovače v hloubce 5,1 m – 8,5 m (Obrázek 74). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 5 (Obrázek 176 – 181), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Od hladiny 5,1 m po hloubku 8,0 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné



horizontální proudění. Intenzita proudění klesá od hloubky 5,4 m k bázi vrtu z 2,4 m/den na 0,3 m/den (tabulka 38, obrázek 75).

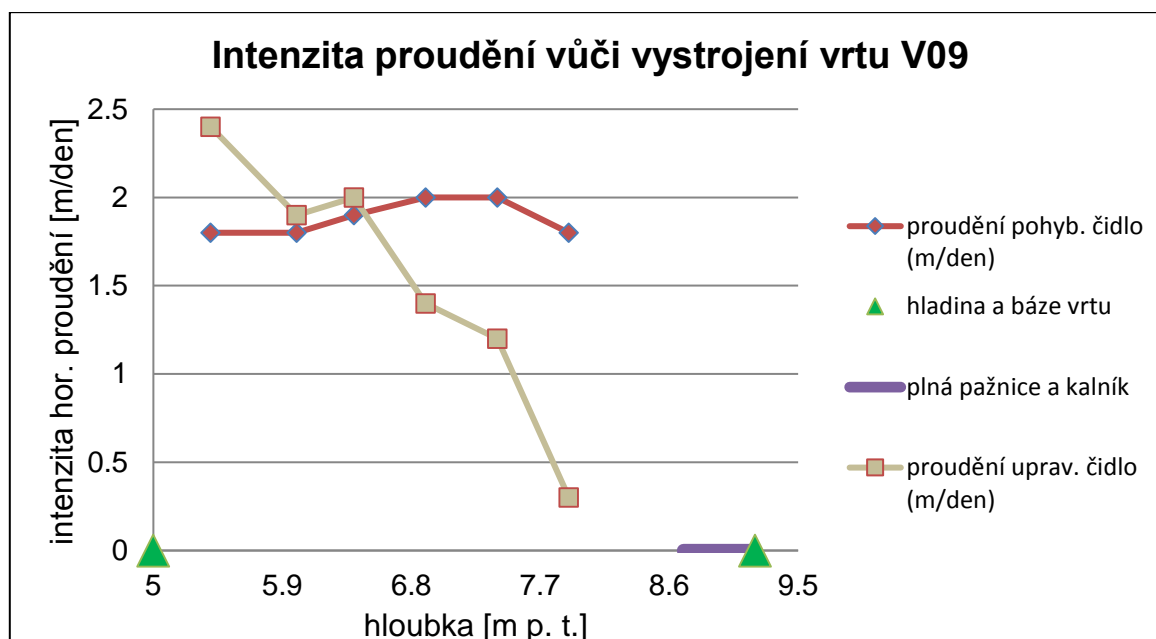
Ze srovnání dvou různých metod je jasné patrné, že v horním úseku 5,4 – 6,4 m dochází ke stejnému rychlému poklesu konduktivity. Avšak od úseku 6,9 m do hloubky 7,9 m jsou průtoky a rychlosti proudění nižší u měření s upravenou geometrií měřící sondy. Může však jít o projev kolmatace spodní části vrtu mezi oběma obdobími měření.



**Obrázek 74:** Záznam hodnot naměřených čidlem s upravenou geometrií ve vrtu V09 (5. 6. 2016) za přirozeného proudění. K ředění stopovače docházelo v hloubce 5,1 - 8,5 m. Kalník se nachází v hloubce 8,7 – 9,2 m.

**Tabulka 38:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V09 za měření s upravenou geometrií sondy a bez úpravy.

	upravená geometrie měřicí sondy	bez úpravy geometrie měřicí sondy	upravená geometrie měřicí sondy	bez úpravy geometrie měřicí sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
5,4	2,4	1,8	82	63
6,0	1,9	1,8	66	63
6,4	2	1,9	70	65
6,9	1,4	2	50	70
7,4	1,2	2	42	73
7,9	0,3	1,8	12	61



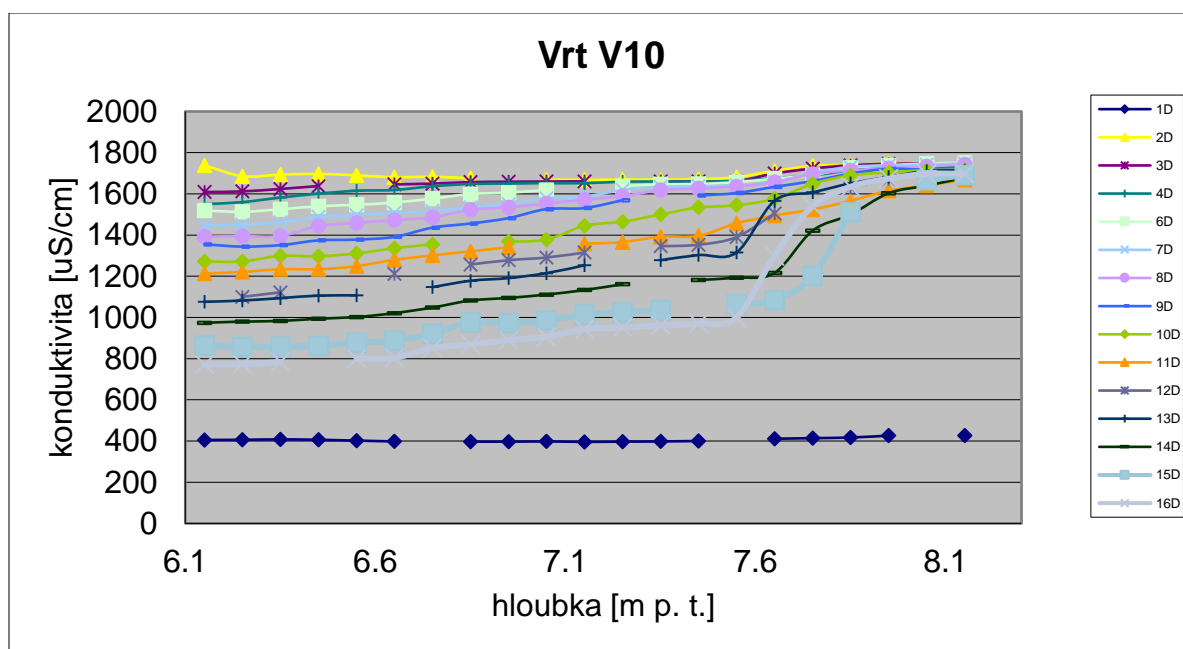
**Obrázek 75:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V09 metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 5,4 m – 7,9 m.

## Vrt V10

Ve vrtu V10 docházelo k ředění stopovače v hloubce 6,2 m – 7,7 m (Obrázek 76). Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 5 (Obrázek 183 – 185), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech

hloubkových úrovních. Od hloubky 6,4 m po hloubku 7,6 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje od hloubky 6,4 m k bázi vrtu okolo 0,3 – 0,2 m/den (tabulka 39, obrázek 77).

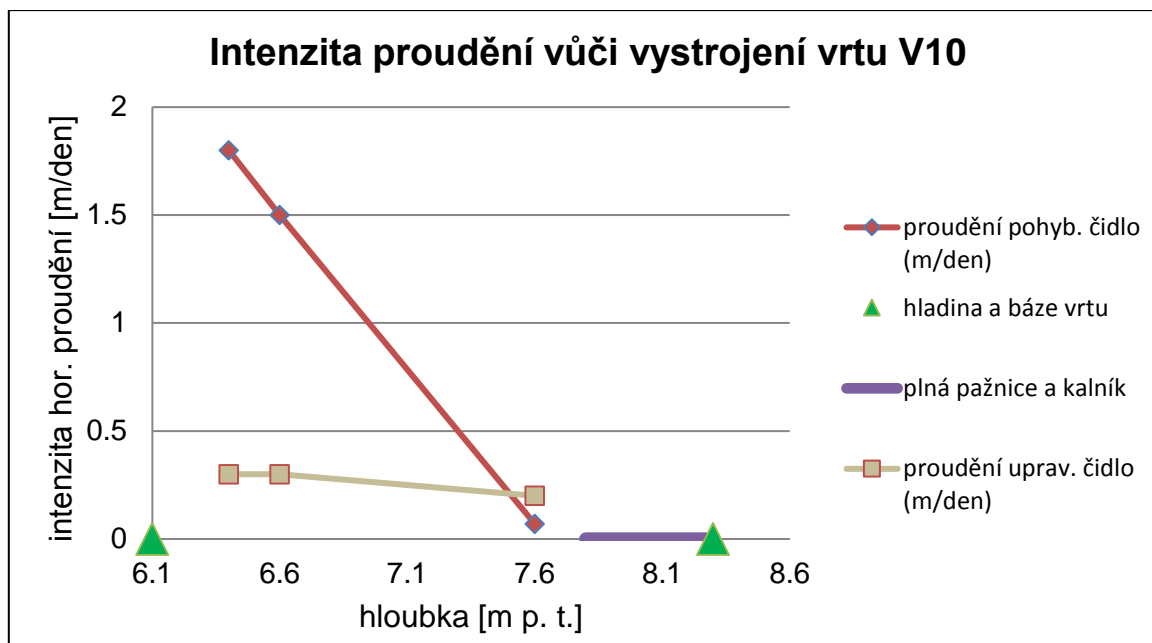
Ze srovnání dvou různých metod je jasné patrné, že od hladiny do hloubky 7,6 m vykazuje měření bez úpravy geometrie měřicí sondy mnohem vyšší rychlosti proudění. Nižší rychlosti proudění a změna z kombinovaného proudění na proudění pouze horizontální ve vrtu může být způsobeno postupnou kolmatací vrtu v průběhu dvou let.



**Obrázek 76:** Záznam hodnot naměřených čidlem s upravenou geometrií ve vrtu V10 (3. 6. 2016) za přirozeného proudění. K ředění stopovače docházelo v hloubce 6,2 - 7,7 m. Kalník se nachází v hloubce 7,8 – 8,3 m.

**Tabulka 39:** Rychlost horizontálního proudění v jednotlivých hloubkách na vrtu V10.

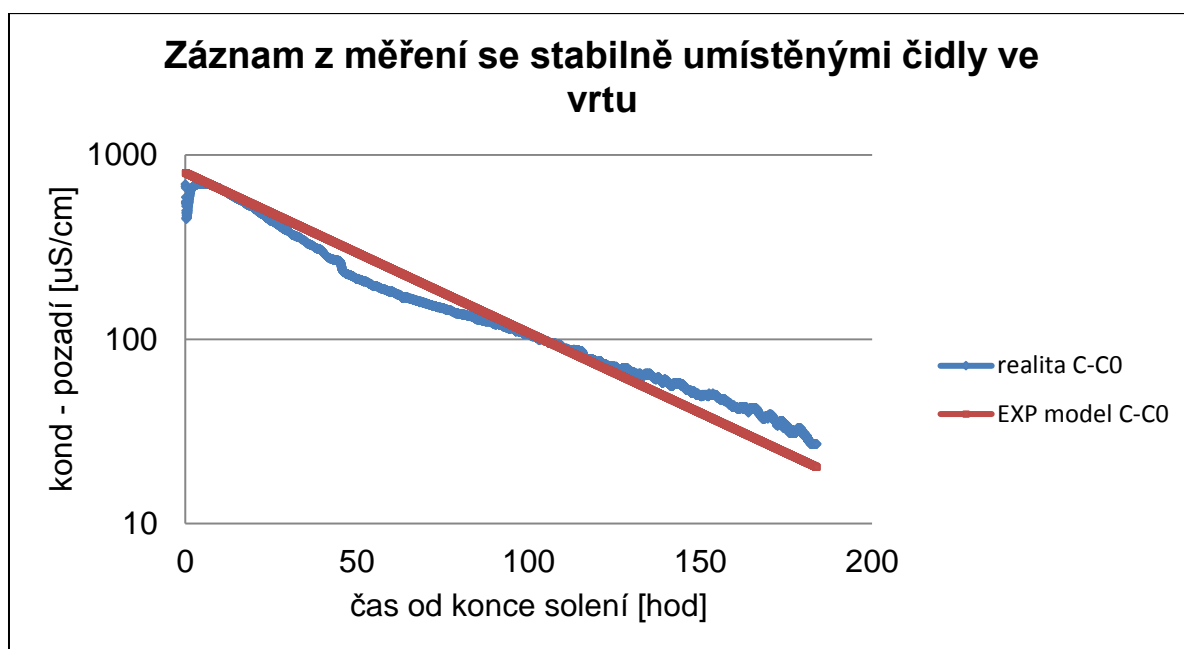
	upravená geometrie měřicí sondy	bez úpravy geometrie měřicí sondy	upravená geometrie měřicí sondy	bez úpravy geometrie měřicí sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
6,4	0,3	1,8	8,5	92
6,6	0,3	1,5	9	80
7,6	0,2	0,07	6	3



**Obrázek 77:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V10 metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 6,4 m – 7,6 m.

#### 5. 4. Měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu

U záznamu z měření v případě stabilně umístěných čidel ve vrtu je získána informace bodově, kde počet bodů odpovídá počtu použitých čidel. V jednotlivých bodech tedy získáme detailní záznam ředění upravené vody ve vrtu v čase (viz. Obrázek 78). Hloubkové úseky, ve kterých byly umístěny stabilně LTC čidla, jsem vybírala tak, aby LTC čidla byla rozdělena ve vrtu v pravidelných intervalech, a pokryla tak celý vodní sloupec. Často jsem však byla omezena počtem vypůjčených LTC čidel. Výsledkem vyhodnocení ze stabilního měření získáme tedy záznam stabilního měření metody ředění označené kapaliny, rychlost proudění v dané hloubce a průtok daným úsekem vrtu.



**Obrázek 78:** Hodnoty naměřené čidlem (30. 4. 2014) na vrtu MV1S za použití stabilně umístěných čidel ve vrtu.

#### 5. 4. 1. Vyhodnocení stabilního měření na lokalitě Káraný

Na lokalitě Káraný bylo zrealizováno měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu na vrtech V02, V03, V09 a V10 v období 2. – 5. 6. 2016 a to ve dvou případech. Poprvé proběhlo měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu souběžně s pohyblivým čidlem s upravenou geometrií tvaru. Druhé měření se stabilními čidly ve vrtu pak probíhalo ve stejném období, jen LTC čidla byla ve vrtu ponechána přes noc bez jakéhokoli jiného ovlivnění. Celkově byly na vrtech na celý vodní sloupec použity tři LTC čidla. Záznamy ze stabilního měření metody ředění označené kapaliny se nacházejí v příloze 6 (Obrázek 186 – 200) a 7 (201 – 215). Bližší informace o uskutečněném měření na vrtech V02, V03, V09 a V10 jsou uvedeny v tabulce 40 - 41.

**Tabulka 40:** Měření na vrtech V02, V03, V09 a V10 na lokalitě Káraný se stabilně umístěnými čidly ve vrtu bez upravené geometrie tvaru.

Vrt	Datum měření (2016)	HPV (m p. t.)	Umístění tří LTC čidel (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita ( $\mu\text{S/cm}$ )	Navýšená konduktivita ( $\mu\text{S/cm}$ )
V02	2.6.	4,71	5,0; 5,7; 6,4	4	100	400 - 900	3600
V03	4.6.	6,52	7,0; 8,0; 9,0	17	100	900 - 1000	2600
V09	5.6.	4,99	5,3; 6,7; 8,1	16,5	150	1000 - 1600	3500
V10	3.6.	6,07	6,6; 6,9; 7,2	16	100	300 - 900	3700

**Tabulka 41:** Měření, které proběhlo souběžně s měřením pomocí pohyblivého LTC čidla s upravenou geometrií tvaru, na vrtech V02, V03, V09 a V10 na lokalitě Káraný se stabilně umístěnými čidly ve vrtu bez upravené geometrie tvaru.

Vrt	Datum měření (2016)	HPV (m p. t.)	Umístění tří LTC čidel (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita ( $\mu\text{S/cm}$ )	Navýšená konduktivita ( $\mu\text{S/cm}$ )
V02	2.6.	4,71	5,0; 5,7; 6,4	4,5	100	150	3600
V03	4.6.	6,52	7,0; 8,0; 9,0	4,5	100	815	2800
V09	5.6.	4,99	5,3; 6,7; 8,1	4	130	500 - 600	3000
V10	3.6.	6,07	6,6; 6,9; 7,2	5	50	400	1800

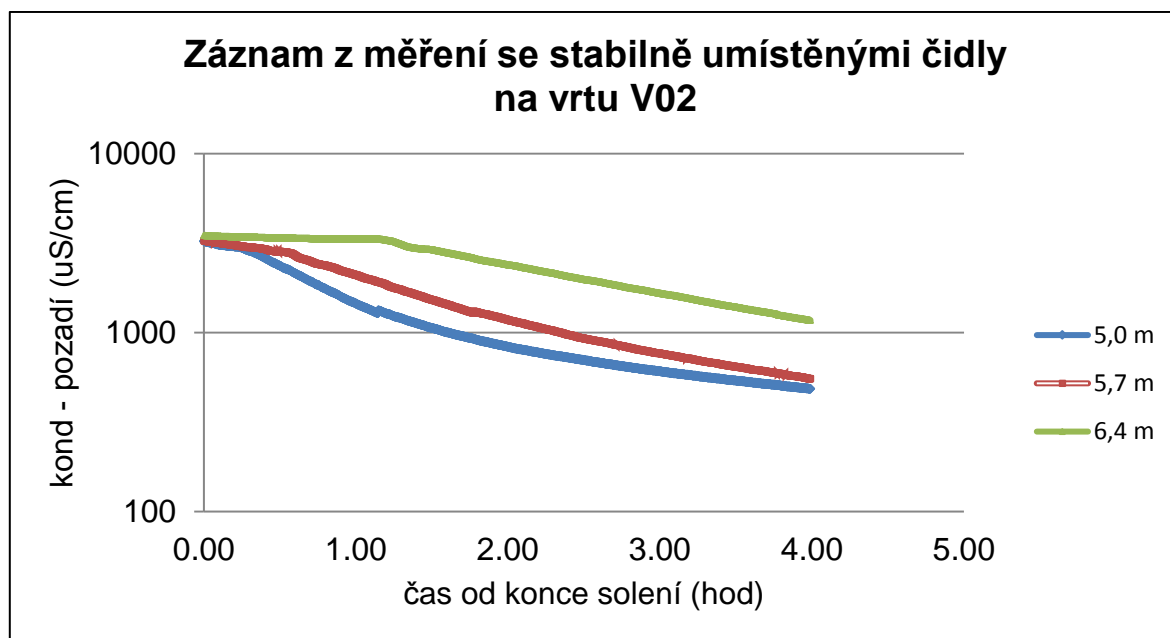
#### Měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu bez ovlivnění

##### Vrt V02

Ve vrtu V02 byly celkově umístěny tři čidla, která byla zavěšena v rozestupu 70 cm a to od hloubky 5,0 m až 6,4 m. Záznam ze stabilního měření na vrtu V02 je zobrazen na obrázku 79. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 6 (Obrázek 186 – 188), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce 5,7 m. V hloubce 5,0 lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 1 h 30 min od konce solení. Následně po 1 hod 30 min o dosažené konduktivitě 1170  $\mu\text{S/cm}$  dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 186, příloha 6). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. V hloubce 6,4 m pokles konduktivity navazuje na exponenciální model až po 1 h od konce solení. V těchto

hloubkách do 1 h nedochází k žádnému poklesu konduktivity v čase, což je typické pro vertikální komponentu. Ve vrtu bylo zjištěno kombinované horizontální a vertikální proudění. V hloubce 5,0 m - 5,7 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. V hloubce 6,4 m bylo zjištěno vertikální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu v hloubce 5,0 m – 5,7 m klesá z 0,9 m/den na 0,5 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku v hloubce 5,0 m – 5,7 m se pohybuje od 0,3 - 0,5 m/den (tabulka 42, obrázek 80). Intenzita vertikálního proudění v hloubce 6,4 m je 0,02 l/den. Jako reálné hodnoty intenzity proudění považuji hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

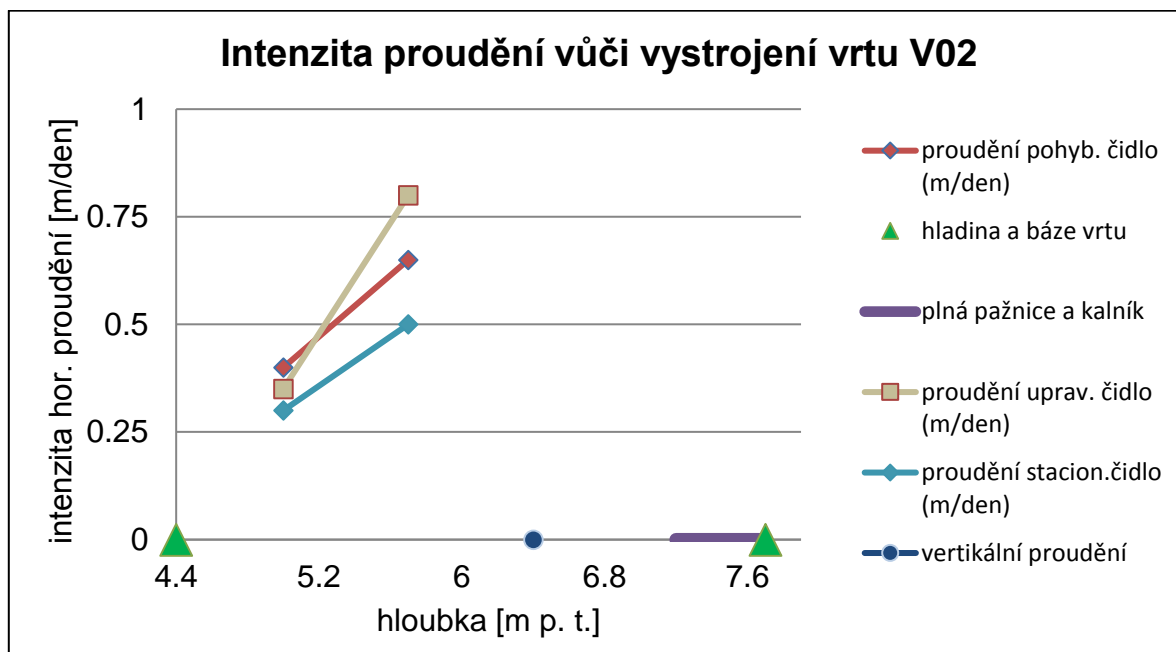
V tabulce 42 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z klasické metody bez upravené sondy a s upravenou sondou. Pokud srovnáme jednotlivé způsoby měření, tak nejvyšší rychlost vykazuje měření s upravenou geometrií sondy v hloubce 4,3. V hloubce 5,7 m jsou rychlosti srovnatelné. Z vyhodnocení pro pozvolný poklesový úsek jsou intenzity proudění shodné u všech typů měření. Na obrázku 81 jsem srovnala rychlosti proudění z pohybujících se čidel s čidly stabilně umístěnými ve vrtu.



**Obrázek 79:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu V02 v hloubce 5,0 m; 5,7 m a 6,4 m (2. 6. 2016) za přirozeného proudění.

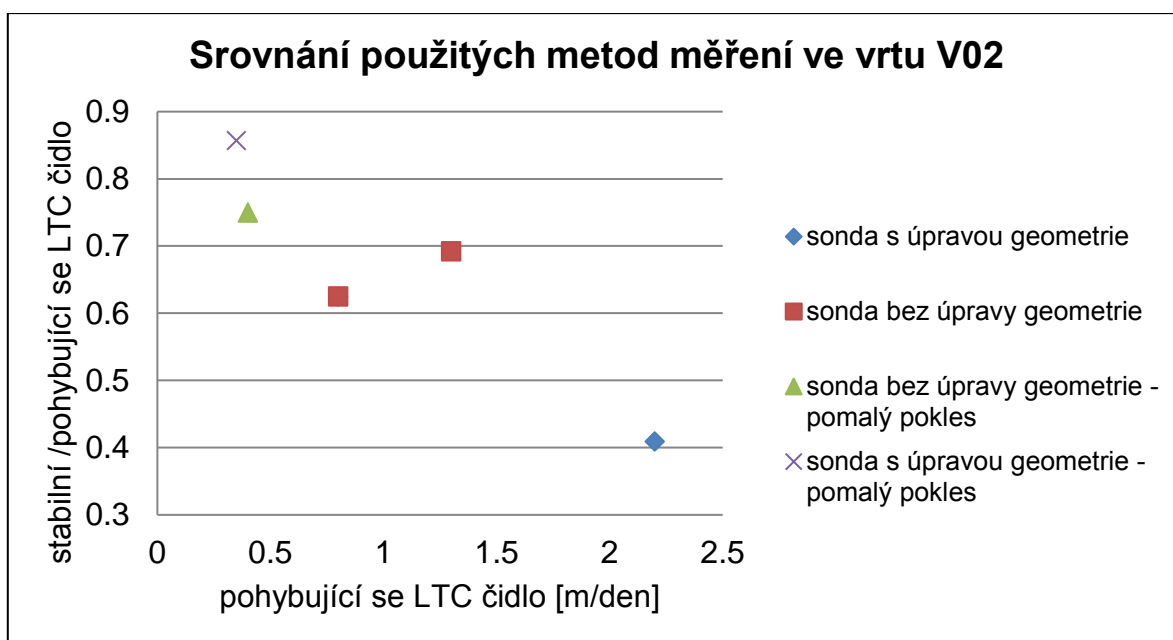
**Tabulka 42:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly a měření s upravenou sondou a bez upravené sondy klasickým způsobem v různých hloubkových úrovních ve vrtu V02. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

	stabilní měření	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy	stabilní měření	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
5,0	0,9 (0,3)	2,2 (0,35)	1,3 (0,4)	30 (10)	76 (11)	46 (6,6)
5,7	0,5	0,8	0,8 (0,65)	18	28	28 (24)



**Obrázek 80:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V02 ze stabilního měření, metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 5,0 m – 5,7 m.





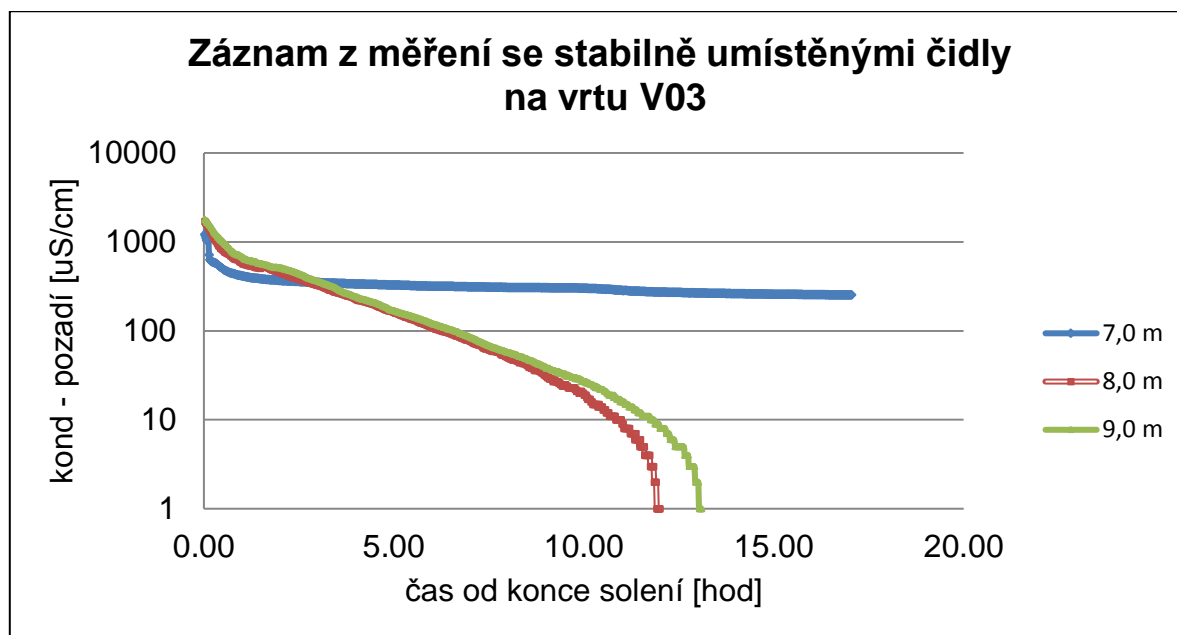
**Obrázek 81:** Srovnání rychlostí proudění pohybujících se čidel a čidel stabilně umístěných ve vrtu V02.

### Vrt V03

Ve vrtu V03 byla celkově umístěna tři čidla, která byla zavěšena v rozestupu 100 cm a to od hloubky 7,0 m až 9,0 m. Záznam z měření se stabilními na vrtu V03 je zobrazen na obrázku 82. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 6 (Obrázek 190 – 192), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Ve vrtu bylo zjištěno v hloubce 7,0 m až 9,0 m samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje okolo 0,02 – 0,4 m/den (tabulka 43, obrázek 83). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

V tabulce 43 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z klasické metody bez upravené sondy a s upravenou sondou. Pokud srovnáme jednotlivé způsoby měření, tak nejvyšší rychlosti proudění vykazuje metoda ředění s použitím sondy bez upravené geometrie, ale pouze do hloubky 8,0 m. V hloubce 9,0 m jsou rychlosti proudění shodné u všech použitých metod. Pokud srovnáme stabilní měření s rychlostmi pro pozvolný poklesový úsek u ostatních metod, tak lze říci, že rychlosti proudění jsou od hloubky 8,0 m do 9,0 m shodné. Naopak v hloubce 7 m vykazalo měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu mnohem nižší

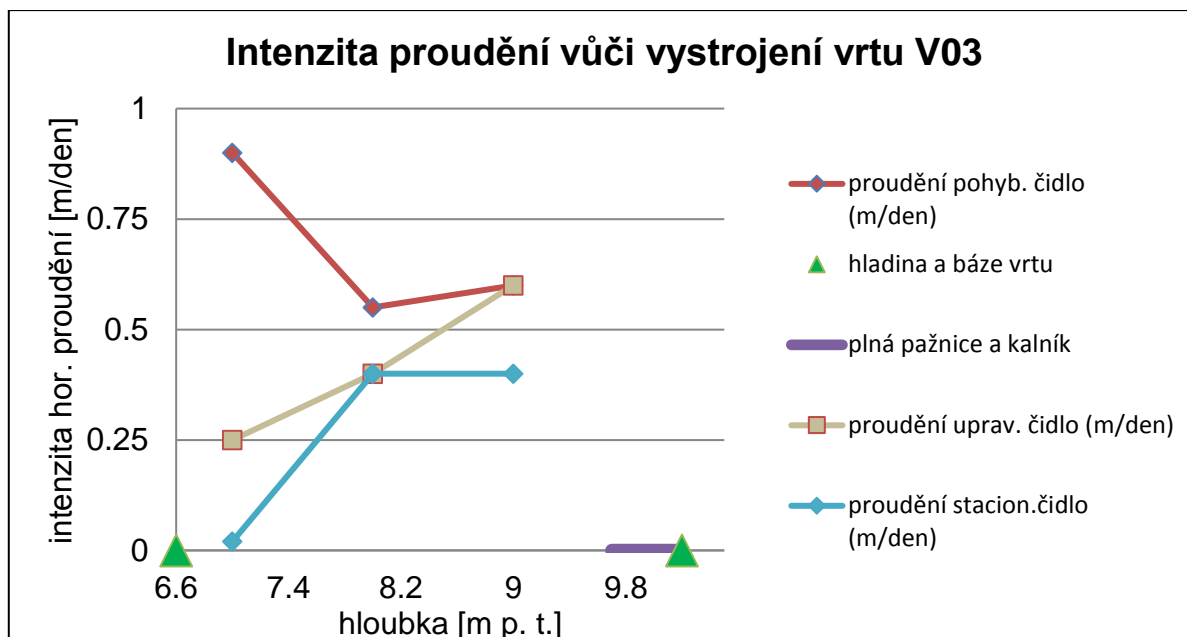
rychlost proudění, než ostatní způsoby měření. Na obrázku 84 jsem srovnala rychlosti proudění z pohybujících se čidel s čidly stabilně umístěnými ve vrtu.



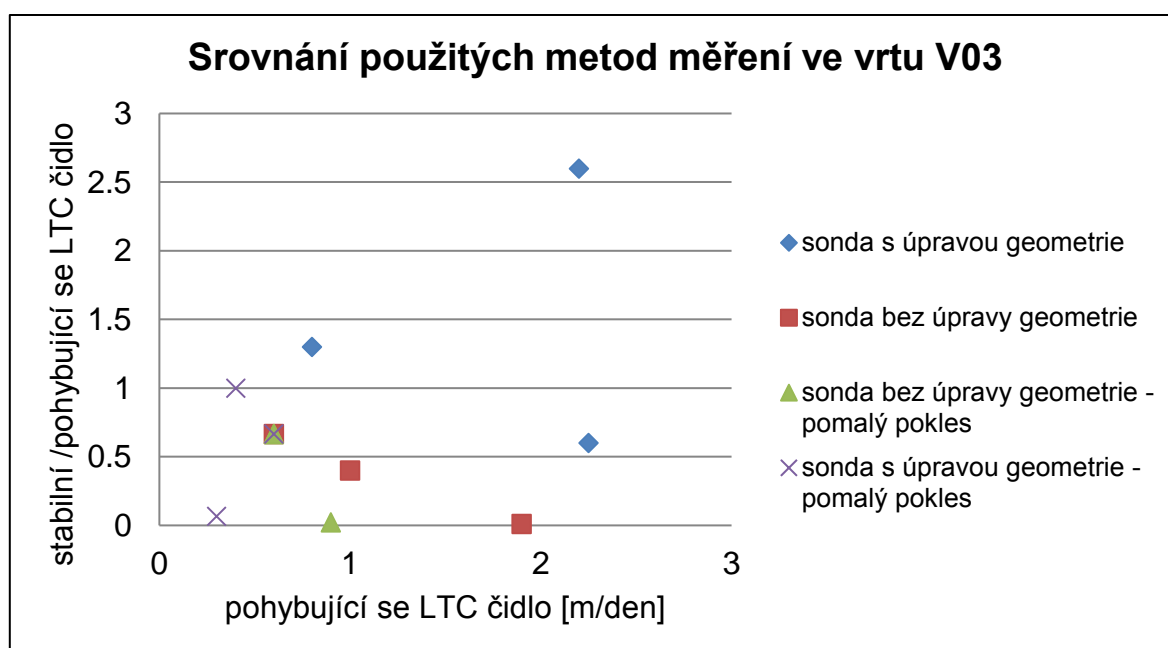
**Obrázek 82:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu V03 v hloubce 7,0 m; 8,0 m a 9,0 m (4. 6. 2016) za přirozeného proudění.

**Tabulka 43:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu, měření s upravenou sondou klasickým způsobem a klasickým měřením bez upravené sondy v různých hloubkových úrovních ve vrtu V03. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

	stabilní měření	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy	stabilní měření	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
7,0	0,02	2,6 (0,25)	1,9 (0,9)	1	91 (9)	66 (33)
8,0	0,4	1,3 (0,4)	1 (0,55)	12	45 (12)	33 (19)
9,0	0,4	0,6	0,6	13	21	19



**Obrázek 83:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V03 ze stabilního měření, metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 7,0 m – 9,0 m.



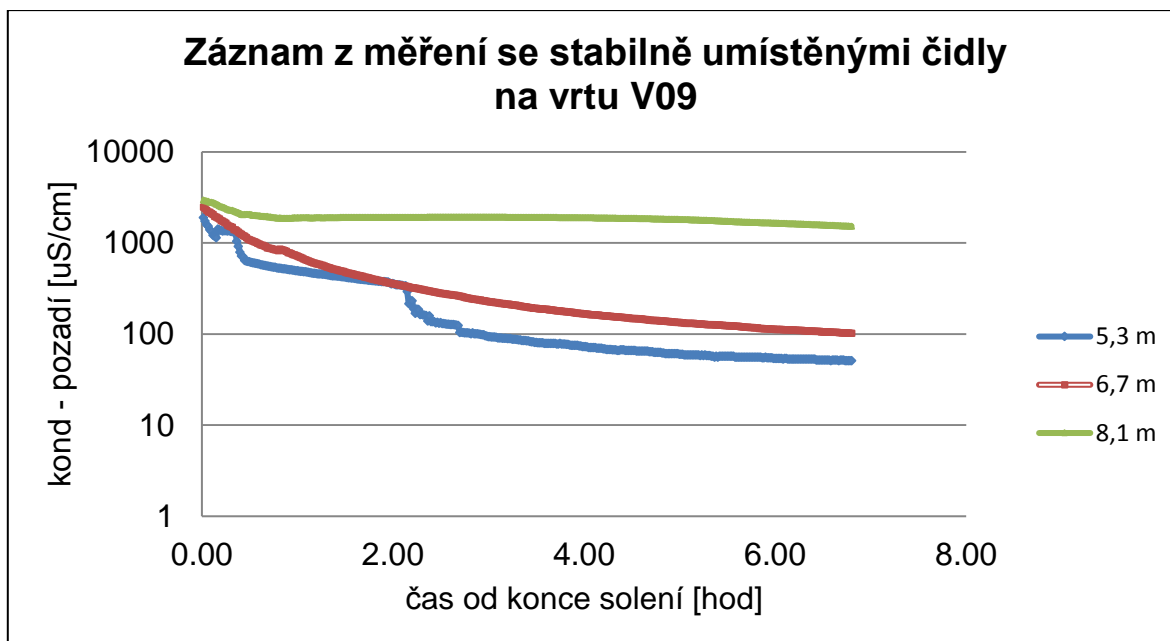
**Obrázek 84:** Srovnání rychlostí proudění pohybujících se čidel a čidel stabilně umístěných ve vrtu V03.

## Vrt V09

Ve vrtu V09 byla celkově umístěna tři čidla, která byla zavěšena v rozestupu 140 cm a to od hloubky 5,3 m až 8,1 m. Záznam z měření se stabilními čidly na vrtu V09 je zobrazen na

obrázku 85. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 6 (Obrázek 193 – 195), jde vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce 8,1 m. V hloubce 5,3 m – 6,7 m lze vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 2 – 3 h od konce solení. Následně po 2 – 3 h o dosažené konduktivitě v rozmezí 640 - 1140 uS/cm dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 193 – 194, příloha 6). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Ve vrtu bylo zjištěno horizontální proudění od hloubky 5,3 m po hloubku 8,1 m. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu se pohybuje od hloubky 5,3 m do hloubky 8,1 okolo 1,0 m/den až 1,3 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku se pohybuje v hloubce 5,3 – 6,7 m okolo 0,15 – 0,2 m/den (tabulka 44, obrázek 86). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považuji hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

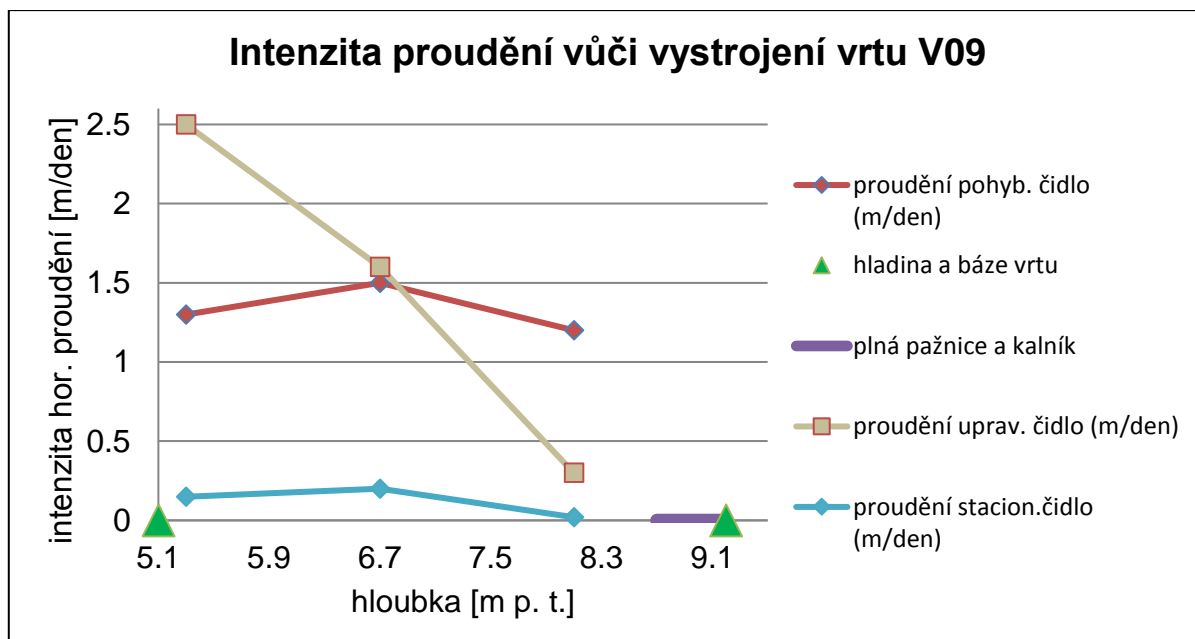
V tabulce 44 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z klasické metody bez upravené sondy a s upravenou sondou. V hloubkové úrovni 6,7 m vykazují všechny metody shodné rychlosti proudění. V hloubce 8,1 vykazují stejné rychlosti jak stabilní měření tak měření s upravenou geometrií sondy. V hloubce 5,3 m vykazuje nejvyšší rychlost sonda s upravenou geometrií tvaru. Stabilní měření vykazuje nejnižší hodnoty rychlosti proudění. Na obrázku 87 jsem srovnala rychlosti proudění z pohybujících se čidel s čidly stabilně umístěnými ve vrtu.



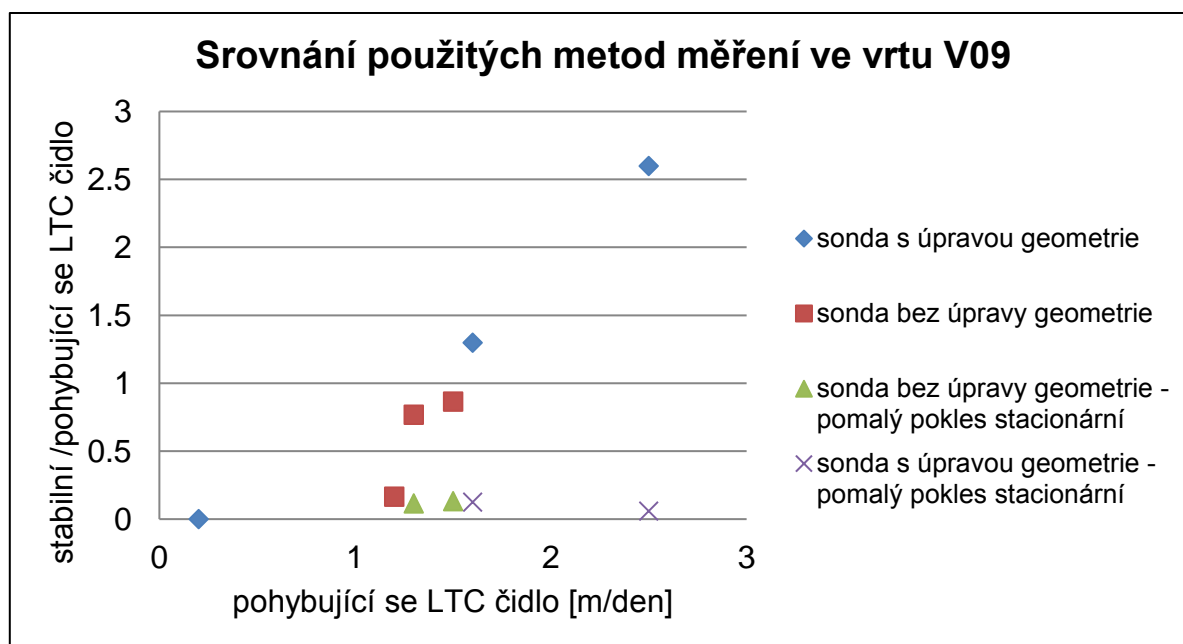
**Obrázek 85:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu V09 v hloubce 5,3 m; 6,7 m a 8,1 m (5. 6. 2016) za přirozeného proudění.

**Tabulka 44:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu, měření s upravenou sondou klasickým způsobem a klasickým měřením bez upravené sondy v různých hloubkových úrovních ve vrtu V09. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

	stabilní měření	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy	stabilní měření	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
5,3	1 (0,15)	2,5	1,3	36 (6)	86	45
6,7	1,3 (0,2)	1,6	1,5	46 (7,6)	56	53
8,1	0,02	0,3	1,2	0,7	10	40



**Obrázek 86:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V09 ze stabilního měření, metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 5,3 m – 8,1 m.



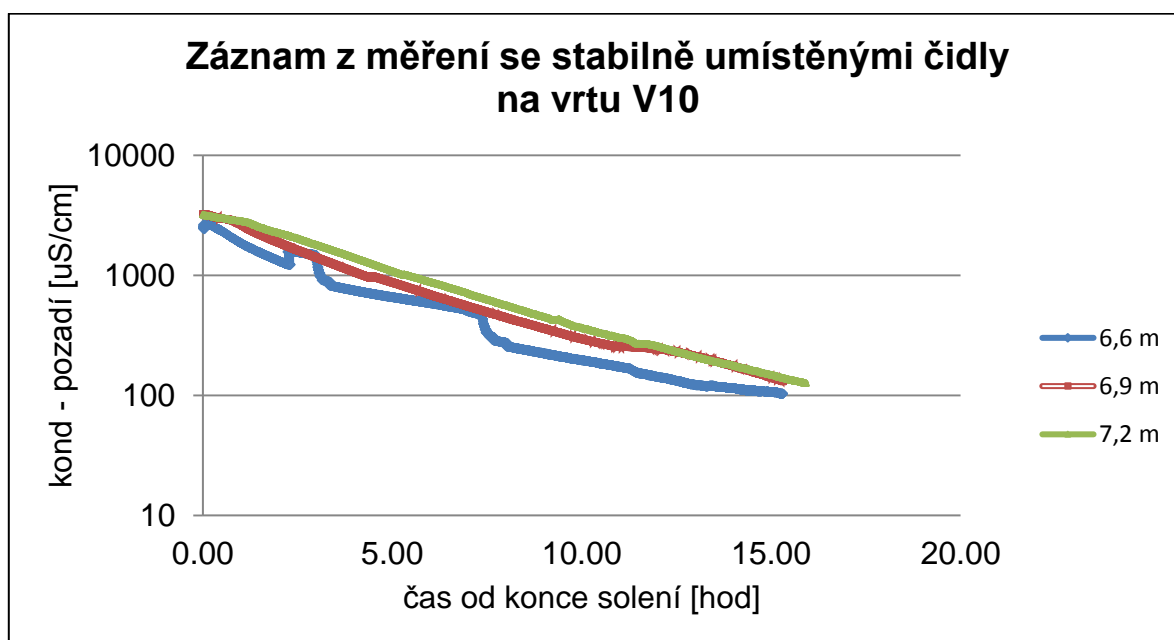
**Obrázek 87:** Srovnání rychlostí proudění pohybujících se čidel a čidel stabilně umístěných ve vrtu V09.

### Vrt V10

Ve vrtu V10 byla celkově umístěna tři čidla, která byla zavěšena v rozestupu 30 cm a to od hloubky 6,6 m až 7,2 m. Záznam z měření se stabilním čidly na vrtu V10 je zobrazen na

obrázku 88. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 6 (Obrázek 198 – 200), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se celkem dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Ve vrtu bylo zjištěno v hloubce 6,6 m až 7,2 m samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje okolo 0,3 – 0,2 m/den (tabulka 45, obrázek 89).

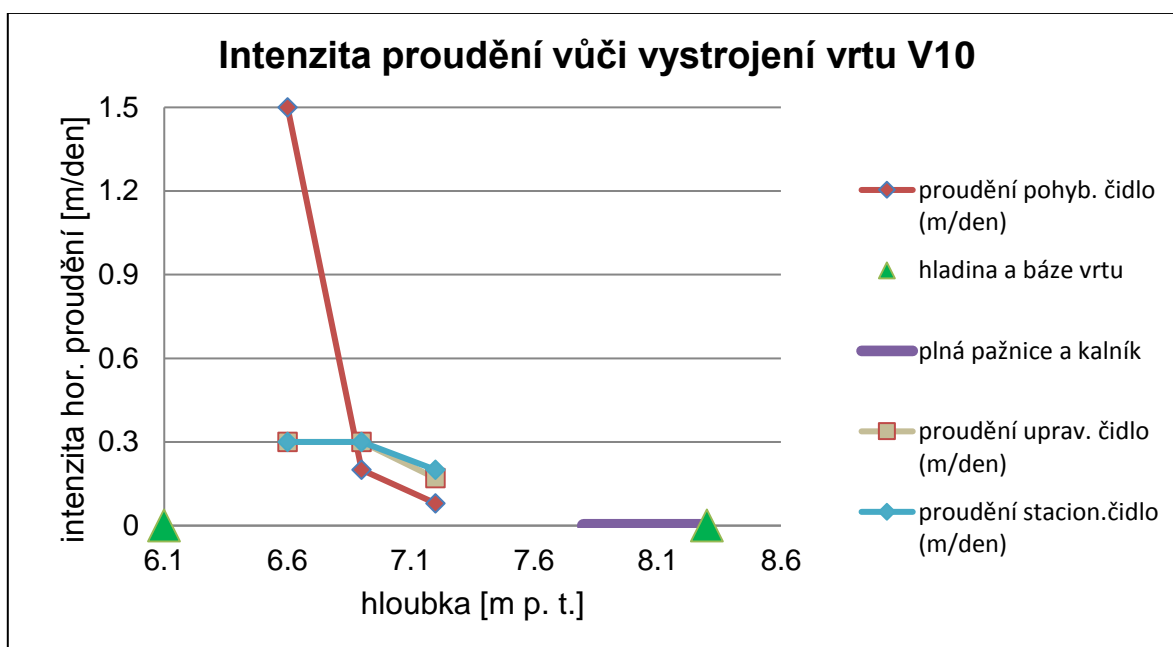
V tabulce 45 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z klasické metody s upravenou sondou a bez upravené sondy. Ze srovnání jednotlivých typů měření je vidět, že rychlosti proudění vycházejí podobně, s výjimkou hloubky 6,6 u měření bez úpravy geometrie sondy. Na obrázku 90 jsem srovnala rychlosti proudění z pohybujících se čidel s čidly stabilně umístěnými ve vrtu.



**Obrázek 88:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu V10 v hloubce 6,6 m; 6,9 m a 7,2 m (3. 6. 2016) za přirozeného proudění.

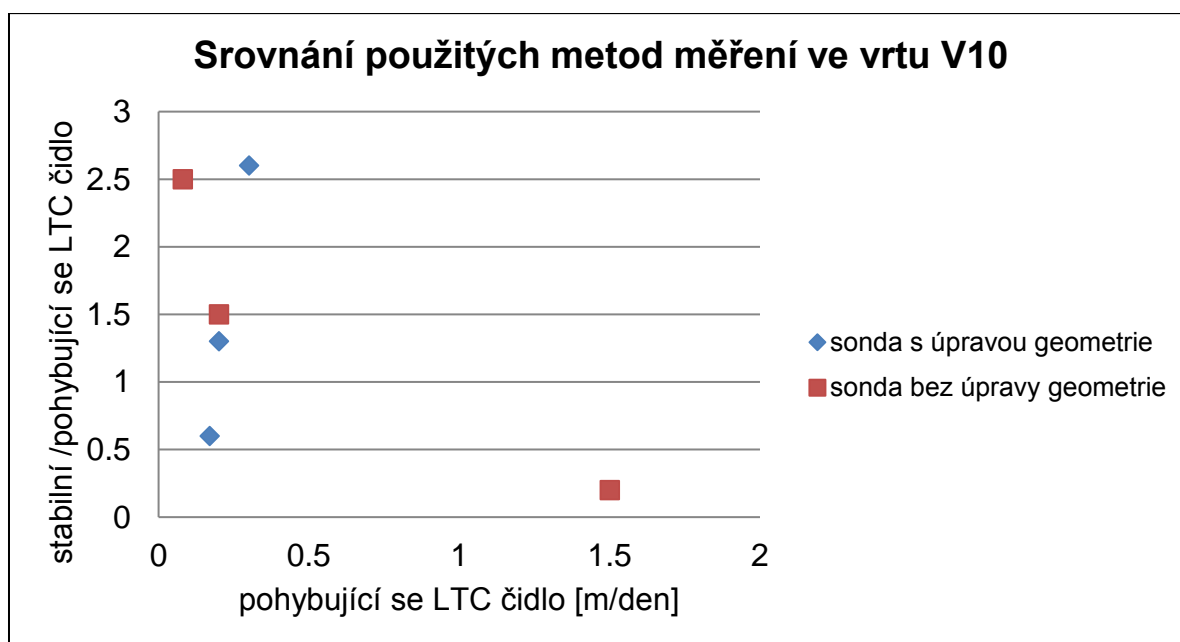
**Tabulka 44:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu a měření s upravenou sondou a bez upravené sondy klasickým způsobem v různých hloubkových úrovních ve vrtu V10.

	stabilní měření	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy	stabilní měření	upravená geometrie měřící sondy	bez úpravy geometrie měřící sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
6,6	0,3	0,3	1,5	9	9	80
6,9	0,3	0,2	0,2	9	7	11
7,2	0,2	0,17	0,08	7,9	6	4



**Obrázek 89:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V10 ze stabilního měření, metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 6,6 m – 7,2 m.





**Obrázek 90:** Srovnání rychlostí proudění pohybujících se čidel a čidel stabilně umístěných ve vrtu V10.

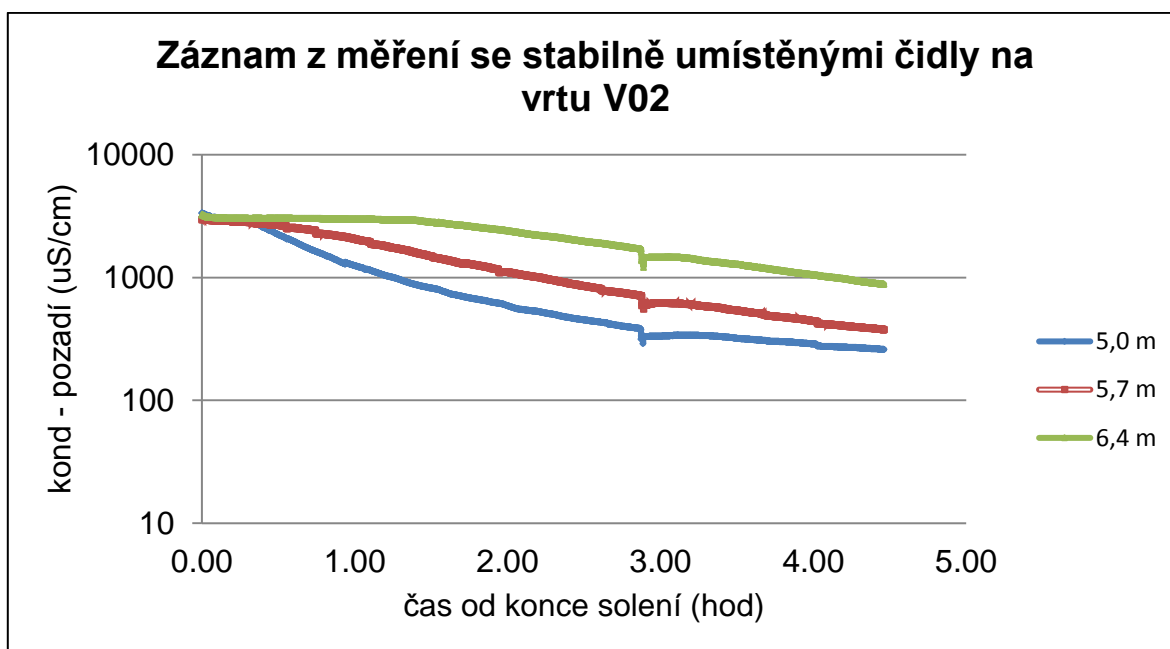
Měření se stabilními čidly probíhající souběžně s měřením pomocí pohyblivého LTC čidla s upravenou geometrií tvaru

#### Vrt V02

Ve vrtu V02 byly celkově umístěny tři čidla, která byla zavěšena v rozestupu 70 cm a to od hloubky 5,0 m až 6,4 m. Záznam ze stabilního měření na vrtu V02 je zobrazen na obrázku 91. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 7 (Obrázek 201 – 203), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce 5,7 m. V hloubce 5,0 lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 1 h 30 min od konce solení. Následně po 1 hod 30 min o dosažené konduktivitě 1200 uS/cm dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 201, příloha 7). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. V hloubce 5,7 – 6,4 m pokles konduktivity navazuje na exponenciální model až po 1 h od konce solení. V těchto hloubkách do 1 h nedochází k žádnému poklesu konduktivity v čase, což je typické pro vertikální komponentu. Ve vrtu bylo zjištěno kombinované horizontální a vertikální proudění. V hloubce 5,0 m - 5,7 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění.

V hloubce 6,4 m bylo zjištěno vertikální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu v hloubce 5,0 m – 5,7 m klesá z 1 m/den na 0,55 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku v hloubce 5,0 m – 5,7 m se pohybuje od 0,45 - 0,55 m/den (tabulka 45, obrázek 92). Intenzita vertikálního proudění v hloubce 6,4 m je 0,02 l/den. Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

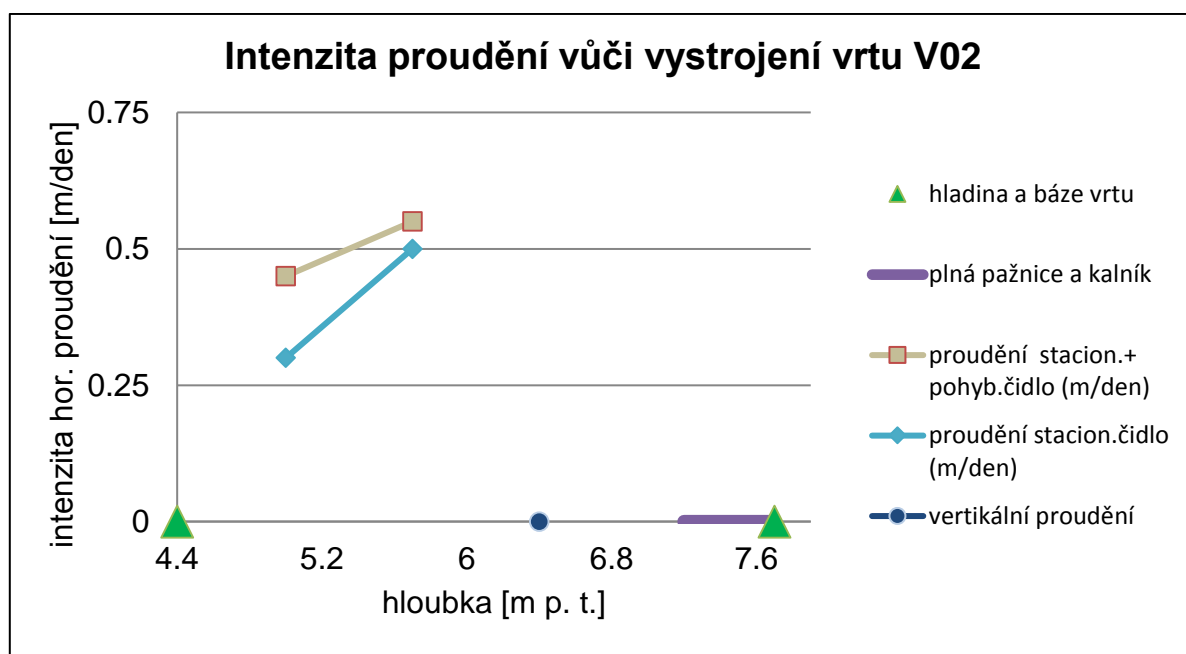
V tabulce 45 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z měření se stabilně umístěnými čidly bez ovlivnění. Pokud srovnáme obě uskutečněná měření, tak vyšší rychlosti proudění vykazuje stabilní metoda, která byla uskutečněna současně s měřením pomocí pohyblivého LTC čidla.



**Obrázek 91:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu V02 v hloubce 5,0 m; 5,7 m a 6,4 m (2. 6. 2016) za přirozeného proudění. Souběžně s měřením probíhalo měření s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií.

**Tabulka 45:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly bez ovlivnění a měření se stabilně umístěnými čidly, kdy souběžně probíhalo měření s pohyblivým LTC čidlem na vrtu V02. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

	stabilní měření se souběžným pohybovým čidlem	stabilní měření	stabilní měření se souběžným pohybovým čidlem	stabilní měření
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
5,0	1 (0,45)	0,9 (0,3)	36 (16)	30 (10)
5,7	0,55	0,5	19	18



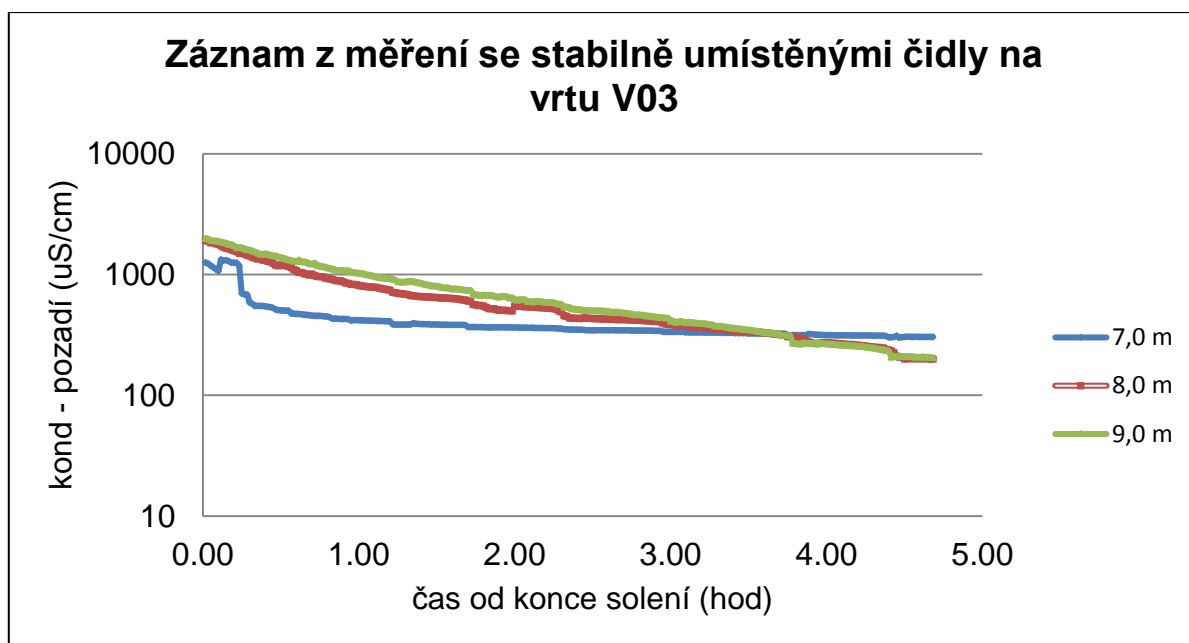
**Obrázek 92:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V02 ze stabilního měření neovlivněného a ze stabilního měření probíhajícího souběžně s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií tvaru v hloubce 5,0 m – 5,7 m.

### Vrt V03

Ve vrtu V03 byla celkově umístěna tři čidla, která byla zavěšena v rozestupu 100 cm a to od hloubky 7,0 m až 9,0 m. Záznam z měření se stabilními čidly na vrtu V03 je zobrazen na obrázku 93. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 7 (Obrázek 205 – 207), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním

modelem ve všech hloubkových úrovních. Ve vrtu bylo zjištěno v hloubce 7,0 m až 9,0 m samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje okolo 0,09 – 0,5 m/den (tabulka 46, obrázek 94).

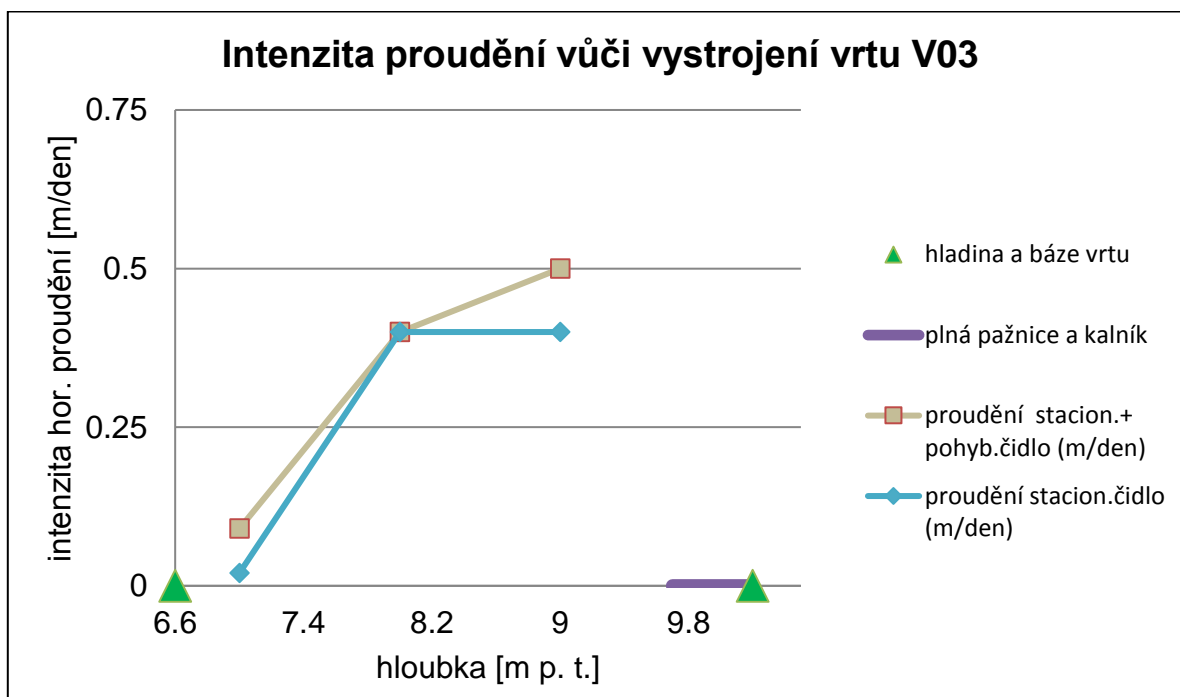
V tabulce 46 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z měření se stabilně umístěnými čidly bez ovlivnění. Pokud srovnáme obě uskutečněná měření, tak vyšší rychlosti proudění vykazuje stabilní metoda v hloubce 7,0 m a 9,0 m, která byla uskutečněna současně s měřením pomocí pohyblivého LTC čidla. V hloubce 8,0 m vykazují obě měření stejné rychlosti proudění.



**Obrázek 93:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu V03 v hloubce 7,0 m; 8,0 m a 9,0 m (4. 6. 2016) za přirozeného proudění. Souběžně s měřením probíhalo měření s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií.

**Tabulka 46:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly bez ovlivnění a měření se stabilně umístěnými čidly, kdy souběžně probíhalo měření s pohyblivým LTC čidlem na vrtu V03.

	stabilní měření se souběžným pohybovým čidlem	stabilní měření	stabilní měření se souběžným pohybovým čidlem	stabilní měření
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
7,0	0,09	0,02	3	1
8,0	0,4	0,4	14	12
9,0	0,5	0,4	17	13



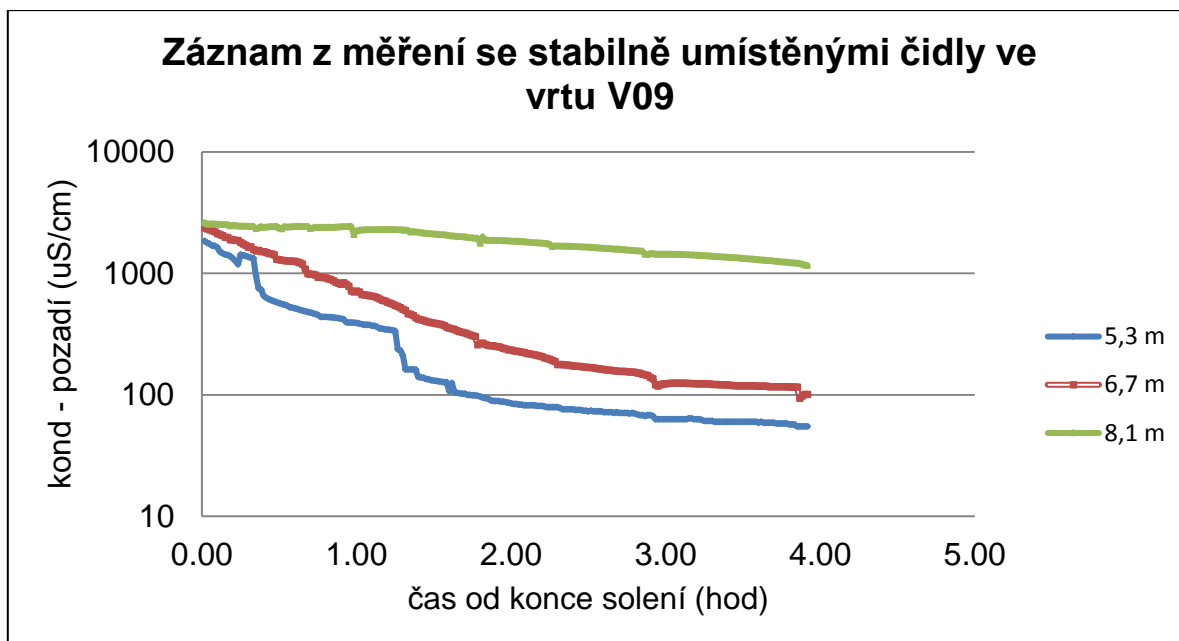
**Obrázek 94:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V03 ze stabilního měření neovlivněného a ze stabilního měření probíhajícího souběžně s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií tvaru v hloubce 7,0 m – 9,0 m.

#### Vrt V09

Ve vrtu V09 byla celkově umístěna tři čidla, která byla zavěšena v rozestupu 140 cm a to od hloubky 5,3 m až 8,1 m. Záznam z měření se stabilně umístěnými čidly na vrtu V09 je

zobrazen na obrázku 95. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 7 (Obrázek 208 – 210), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce 8,1 m. V hloubce 5,3 m – 6,7 m lze vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 2 – 3 h od konce solení. Následně po 2 – 3h o dosažené konduktivitě v rozmezí 640 - 840 uS/cm dochází k zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 208 – 209, příloha 7). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Ve vrtu bylo zjištěno horizontální proudění od hloubky 5,3 m po hloubku 8,1 m. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu se pohybuje od hloubky 5,3 m do hloubky 8,1 m okolo 1,9 m/den až 0,2 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku se pohybuje v hloubce 5,3 – 8,1 m okolo 0,26 – 0,2 m/den (tabulka 47, obrázek 96). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

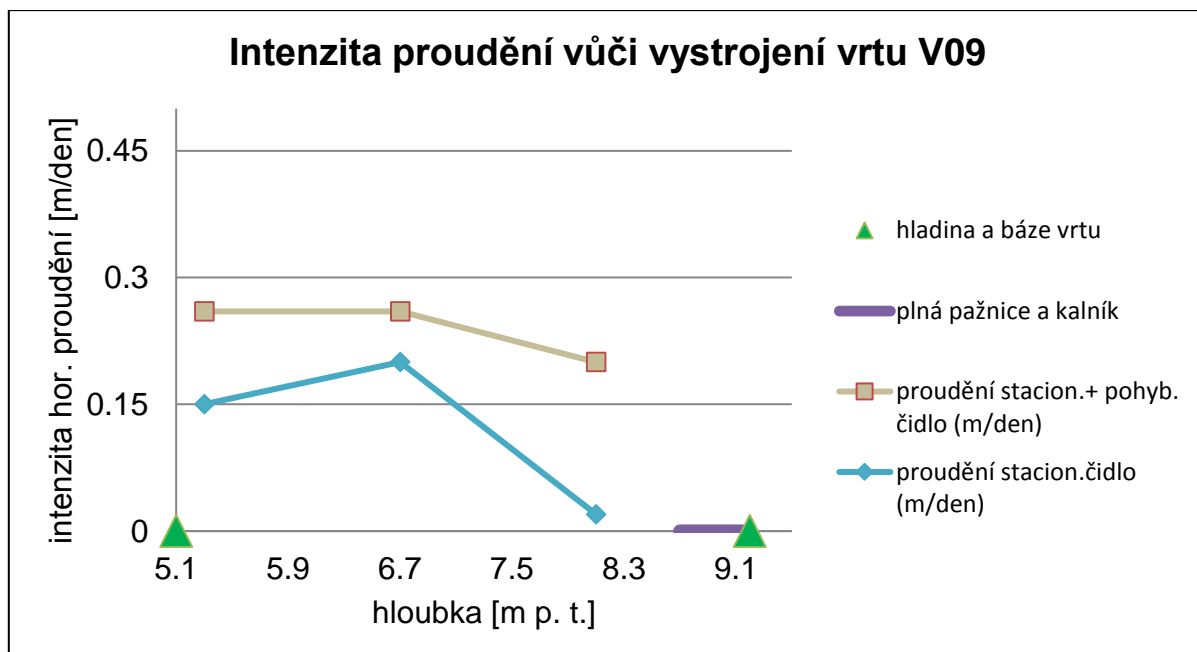
V tabulce 47 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z měření se stabilně umístěnými čidly bez ovlivnění. Pokud srovnáme obě uskutečněná měření, tak vyšší rychlosti proudění vykazuje stabilní metoda, která byla uskutečněna současně s měřením pomocí pohyblivého LTC čidla.



**Obrázek 95:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu V09 v hloubce 5,3 m; 6,7 m a 8,1 m (5. 6. 2016) za přirozeného proudění. Souběžně s měřením probíhalo měření s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií.

**Tabulka 47:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly bez ovlivnění a měření se stabilně umístěnými čidly, kdy souběžně probíhalo měření s pohyblivým LTC čidlem na vrtu V09. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

	stabilní měření se souběžným pohybovým čidlem	stabilní měření	stabilní měření se souběžným pohybovým čidlem	stabilní měření
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
5,3	1,9 (0,26)	1 (0,15)	60 (9)	36 (6)
6,7	1,2 (0,26)	1,3 (0,2)	40 (9)	46 (7,6)
8,1	0,2	0,02	7	0,7



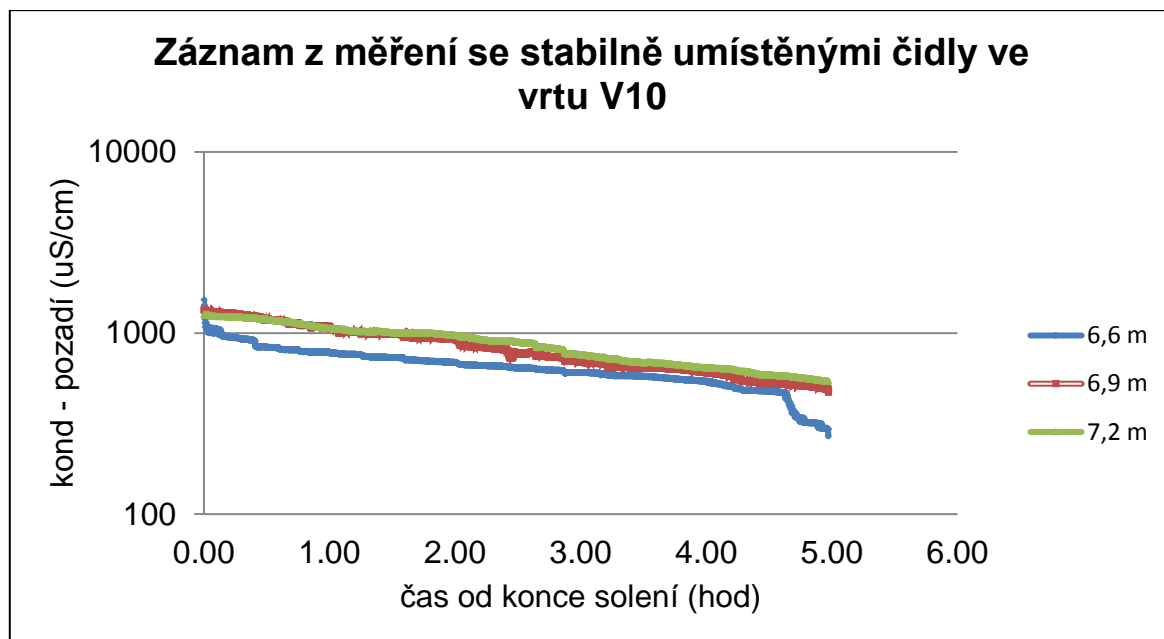
**Obrázek 96:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V09 ze stabilního měření neovlivněného a ze stabilního měření probíhajícího souběžně s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií tvaru v hloubce 5,3 m – 8,1 m.

### Vrt V10

Ve vrtu V10 byla celkově umístěna tři čidla, která byla zavěšena v rozestupu 30 cm a to od hloubky 6,6 m až 7,2 m. Záznam z měření se stabilně umístěnými čidly na vrtu V10 je zobrazen na obrázku 97. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 7 (Obrázek 213 – 215), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se celkem dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Ve vrtu bylo zjištěno v hloubce 6,6 m až 7,2 m samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění se pohybuje okolo 0,2 – 0,15 m/den (tabulka 48, obrázek 98).

V tabulce 48 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z měření se stabilně umístěnými čidly bez ovlivnění. Pokud srovnáme obě uskutečněná měření, tak vyšší rychlosti proudění vykazuje stabilní metoda bez ovlivnění ve všech hloubkových úrovních.

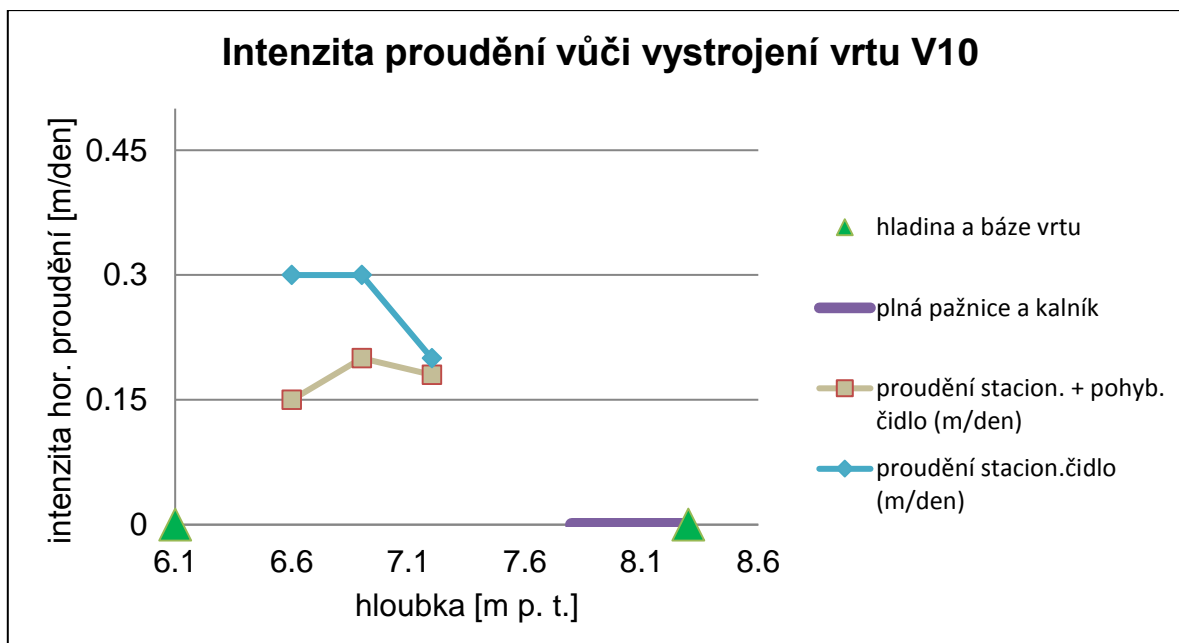




**Obrázek 97:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu V10 v hloubce 6,6 m; 6,9 m a 7,2 m (3. 6. 2016) za přirozeného proudění. Souběžně s měřením probíhalo měření s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií

**Tabulka 48:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly bez ovlivnění a měření se stabilně umístěnými čidly, kdy souběžně probíhalo měření s pohyblivým LTC čidlem na vrtu V10.

	stabilní měření se souběžným pohybovým čidlem	stabilní měření	stabilní měření se souběžným pohybovým čidlem	stabilní měření
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
6,6	0,15	0,3	5	9
6,9	0,2	0,3	7	9
7,2	0,18	0,2	6	7,9



**Obrázek 98:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu V10 ze stabilního měření neovlivněného a ze stabilního měření probíhajícího souběžně s pohyblivým LTC čidlem s upravenou geometrií tvaru v hloubce 6,6 m – 7,2 m.

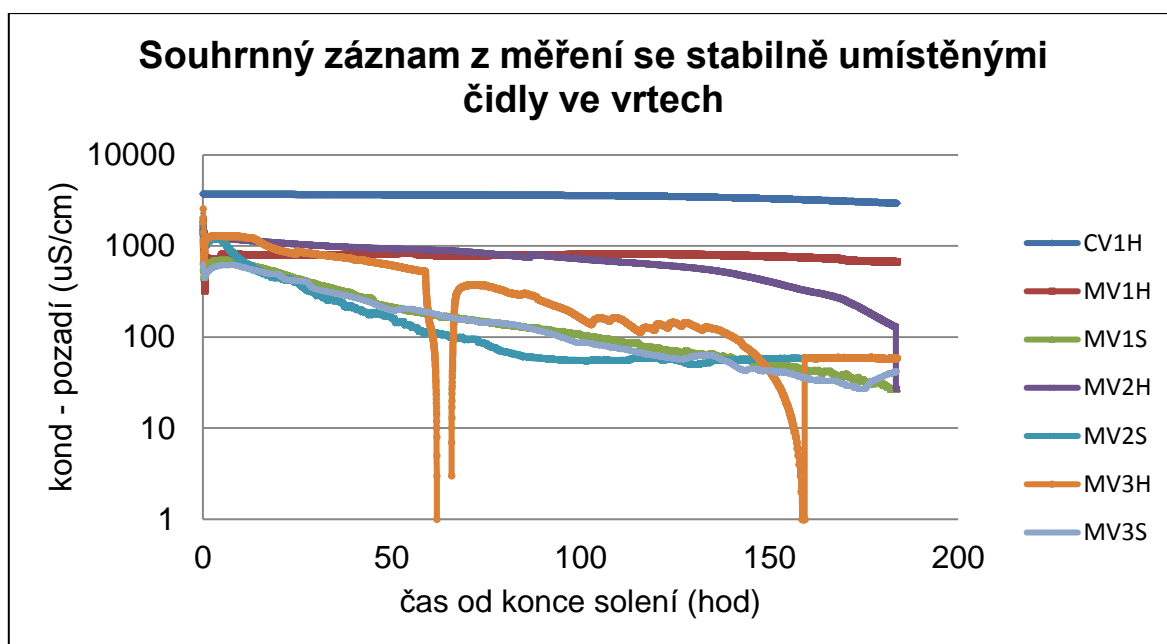
#### 5. 4. 2. Vyhodnocení stabilního měření na lokalitě Hradec Králové

Na lokalitě Hradec Králové bylo zrealizováno měření se stabilně umístěnými čidly na vrtech CV1, MV1 – 3 HS v období 30. 4. – 8. 5. 2014. V průběhu měření byla na centrálním vrtu recirkulována voda s průtokem okolo 300 l/hod. Na vybraných vrtech MV1S, MV2S – H, MV3S – H se také uskutečnilo měření metodou ředění označené kapaliny dne 9. 5. 2014. Detailní informace o uskutečněných měřeních na CV1, MV1 – 3 HS jsou uvedeny v tabulce 49. Záznamy ze stabilního měření metody ředění označené kapaliny se nacházejí v příloze 8 (Obrázek 216 – 222). Souhrnný záznam ze stabilního měření na vrtech je zobrazen na obrázku 99.

**Tabulka 49:** Měření na vrtech CV1H, MV1 – 3 HS na lokalitě Hradec Králové se stabilně umístěnými čidly ve vrtu bez upravené geometrie tvaru.

Vrt	Datum měření (2014)	HPV (m p. t.)	Umístění čidla (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Navýšená konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
CV1H	30.4 – 8.5.	3,21	4,3	180	150	690	4400
MV1S	30.4 – 8.5.	3,23	9,4	180	60	650	2700
MV1H	30.4 – 8.5.	3,22	4,4	180	60	770	1300
MV2S	30.4 – 8.5.	3,27	9,4	180	60	560	2300
MV2H	30.4 – 8.5.	3,26	4,4	180	60	680	2700
MV3S	30.4 – 8.5.	3,27	9,3	180	60	690	3100
MV3H	30.4 – 8.5.	3,28	4,3	180	60	640	1300

Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 8 (Obrázek 216 – 222), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se celkem dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních (4,3 m u vrtů H a 9,3 u vrtů označených S), výjimkou je vrt MV2S. Ve vrtu MV2S dojde po 3 dnech od konce solení ke kompletnímu vymytí stopovače a dále se křivka už neshoduje s exponenciálním modelem. Ve vrtech bylo zjištěno samovolné horizontální proudění s výjimkou vrtu MV2H, kde se jeví přítomnost vertikální komponenty. Intenzita proudění ve všech vrtech je velmi nízká a pohybuje se okolo 0,3 – 0,0004 m/den (tabulka 50).



**Obrázek 99:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtech CV1H, MV1 – 3H, MV1 – 3S (30. 4. 2014).

**Tabulka 50:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly na jednotlivých vrtech. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

Vrt	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
CV1H	0,08	0,002
MV1S	0,8	0,015
MV1H	0,02	0,0004
MV2S	1,6	0,03
MV2H	0,3	0,005
MV3S	0,7	0,014
MV3H	0,7	0,015

#### 5. 4. 3. Vyhodnocení stabilního měření na lokalitě Černá za Bory

Na lokalitě Černá za Bory proběhlo měření se stabilně umístěnými čidly celkově na šesti vrtech HG1, H3 – 7 v období 17. – 20. 8. 2015. Bližší informace o uskutečněných měřeních jsou uvedeny v tabulce 51. Současně byla na vrtu HG6 uskutečněna metoda ředění označené kapaliny s pohyblivým čidlem. Celkově jsem měla k dispozici 10 čidel. Jednotlivá čidla byla

přivázaná na lanko ve vertikálních konstantních rozestupech v závislosti na hloubce vrtů. Celkově tak na lanku viselo 10 čidel, pouze u vrtu HG6 díky hloubce bylo použito pouze 8 LTC čidel. Během měření byla kontrolována průběžně konduktivita konduktometrem WTW. Hloubkové umístění jednotlivých čidel LTC ve vrtech je uvedeno v tabulce 52. Záznamy ze stabilního měření metody ředění označené kapaliny v různých hloubkových úrovních ve vrtech se nacházejí v příloze 9 (Obrázek 223 – 288).

**Tabulka 51:** Měření na vrtech HG1, HG3 - 7 na lokalitě Černá za Bory se stabilně umístěnými čidly ve vrtu bez upravené geometrie tvaru.

Vrt	Datum měření (2015)	HPV (m p. t.)	Délka měření (hod)	Množství soli (g)	Počáteční konduktivita ( $\mu\text{S/cm}$ )	Navýšená konduktivita ( $\mu\text{S/cm}$ )
<b>HG1</b>	17.8.	5,28	6	170	565	3900
<b>HG3</b>	17. - 18.8.	5,95	12	60	450	1900
<b>HG4</b>	18.8.	5,77	8	50	550	2100
<b>HG5</b>	18. - 19.8.	6,16	14	50	540	1700
<b>HG6</b>	19.8.	7,87	9	50	500 - 800	2300
<b>HG7</b>	19. - 20.8.	4,44	11	100	750	2100

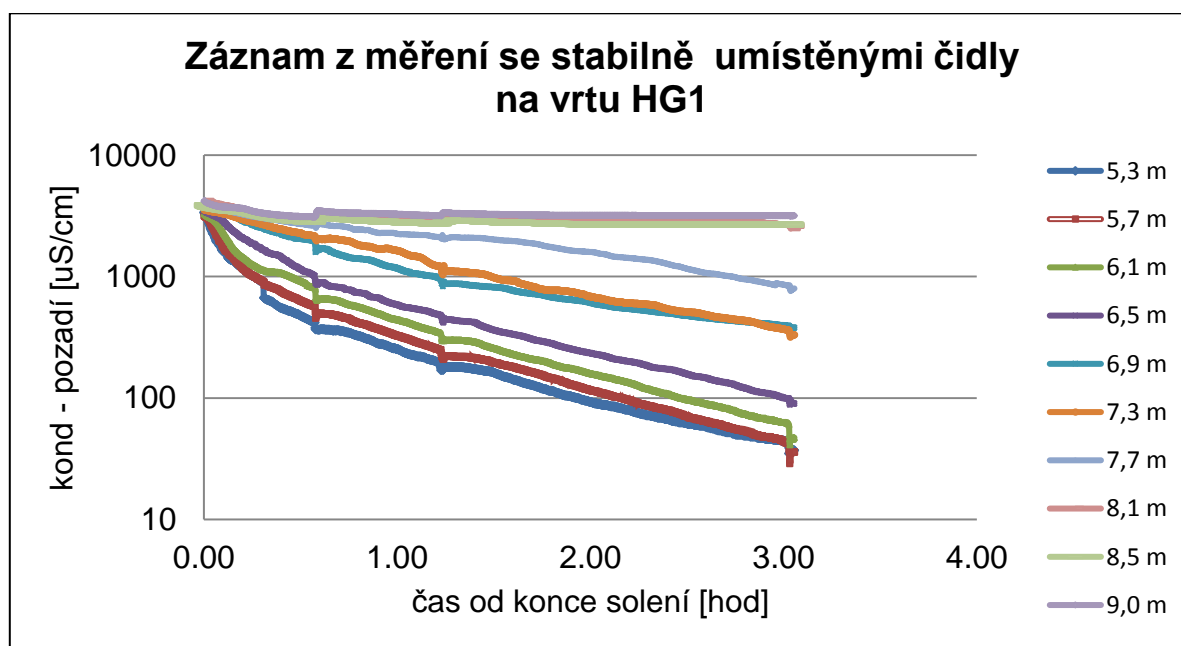
**Tabulka 52:** Hloubkové umístění LTC čidel ve vrtech HG1, HG3 – 7 na lokalitě Černá za Bory.

Vrt	Hloubka umístění čidel (m p. t.)									
<b>HG1</b>	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	7,7	8,1	8,5	9,0
<b>HG3</b>	6,0	6,35	6,7	7,0	7,4	7,7	8,05	8,4	8,7	9,07
<b>HG4</b>	5,8	6,2	6,5	6,9	7,3	7,6	8,0	8,3	8,7	9,05
<b>HG5</b>	6,2	6,6	6,9	7,3	7,65	8,0	8,4	8,7	9,1	9,5
<b>HG6</b>	7,9	8,1	8,25	8,4	8,6	8,8	9,0	9,2	-	-
<b>HG7</b>	4,5	4,9	5,4	5,9	6,3	6,8	7,2	7,7	8,1	8,6

### Vrt HG1

Ve vrtu HG1 bylo celkově umístěno 10 čidel, které byly zavěšeny v rozestupu 40 cm a to od hloubky 5,3 m až 9,0 m. Souhrnný záznam z měření se stabilně umístěnými čidly na vrtu HG1 je zobrazen na obrázku 100. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 9 (Obrázek 223 – 232), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce od hloubky 7,3 m – 9,0 m. V hloubce 5,3 m – 6,9 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře

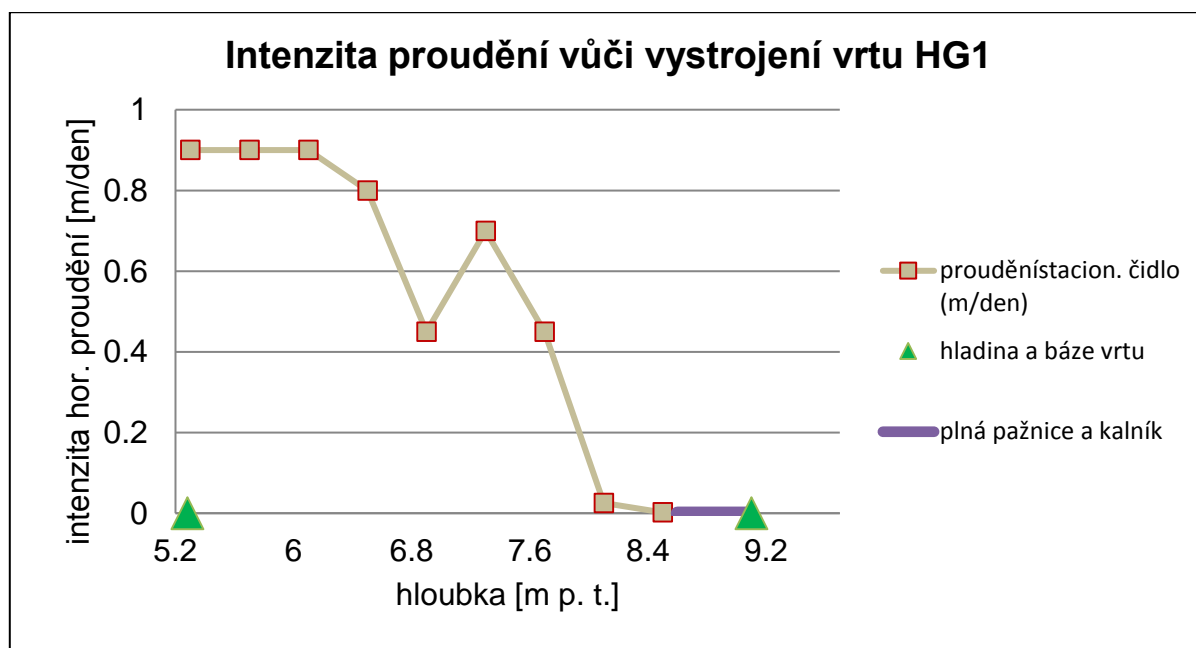
shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 20 min až 1 h od konce solení. Následně po 20 min až 1 hod o dosažené konduktivitě v rozmezí 800 – 1300 uS/cm dochází ke zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 223 – 227, příloha 9). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hloubky 7,3 m po hloubku 9,0 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 5,3 m k bázi vrtu ze 4,5 m/den na 0,013 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu klesá od hloubky 5,3 m – 6,9 m z 0,9 m/den na 0,45 m/den (tabulka 53, obrázek 101). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.



**Obrázek 100:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu HG1 v hloubce 5,3 m – 9,0 m (17. 8. 2015).

**Tabulka 53:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly v různých hloubkových úrovních ve vrtu HG1. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
5,3	161 (32)	4,5 (0,9)
5,7	161 (32)	4,5 (0,9)
6,1	161 (32)	4,5 (0,9)
6,5	71 (29)	2 (0,8)
6,9	40 (16)	2,3 (0,45)
7,3	25	0,7
7,7	16	0,45
8,1	0,9	0,025
8,5	0,7	0,002
9,0	0,5	0,013

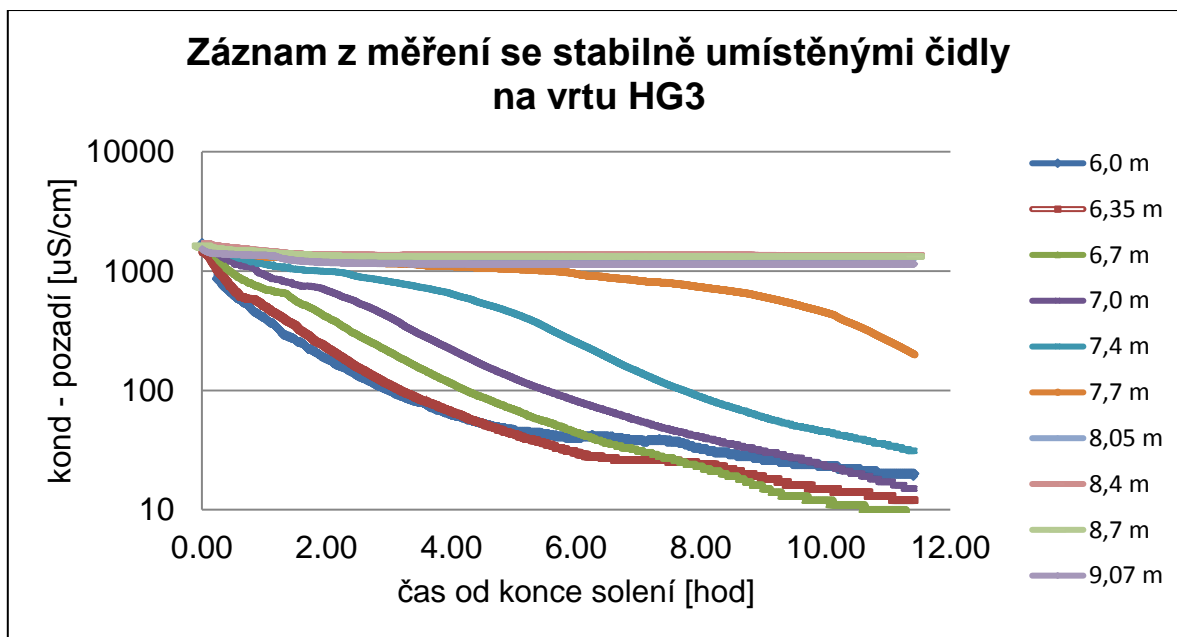


**Obrázek 101:** Ve vrtu HG1 v hloubce 5,3 – 8,5 m se rychlost proudění pohybovala okolo 0,9 m/den až 0,002 m/den.

### Vrt HG3

Ve vrtu HG3 bylo celkově umístěno 10 čidel, které byly zavěšeny v rozestupu 34 cm a to od hloubky 6,0 m až 9,1 m. Souhrnný záznam z měření se stabilně umístěnými čidly na vrtu HG4

je zobrazen na obrázku 102. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 9 (Obrázek 239 – 248), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem v hloubce od hloubky 6,7 m – 9,1 m. V hloubce 6,0 m – 6,35 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 3 hod od konce solení. Následně po 3 h o dosažené konduktivitě v rozmezí okolo 450 uS/cm dochází ke zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 239 – 240, příloha 9). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. Od hloubky 6,0 m po hloubku 9,1 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu klesá od hloubky 6,0 m k bázi vrtu z 0,75 m/den na 0,015 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku poklesu se pohybuje od hloubky 6,0 - 6,35 m okolo 0,1 – 0,2 m/den (tabulka 54, obrázek 103). Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.

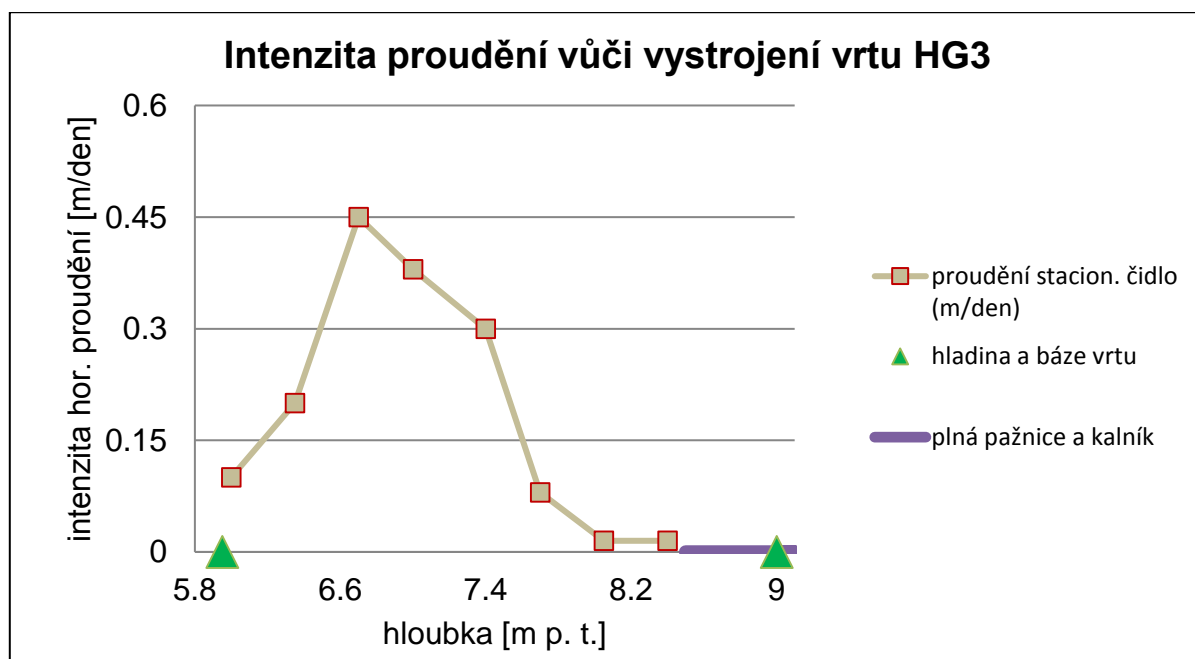


**Obrázek 102:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu HG3 v hloubce 6,0 m – 9,1 m (17. – 18. 8. 2015).



**Tabulka 53:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly v různých hloubkových úrovních ve vrtu HG3. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
6,0	27 (4)	0,75 (0,1)
6,35	23 (5)	0,65 (0,2)
6,7	16	0,45
7,0	13	0,38
7,4	11	0,3
7,7	2,6	0,08
8,05	0,6	0,015
8,4	0,6	0,015
8,7	0,6	0,015
9,1	0,6	0,015

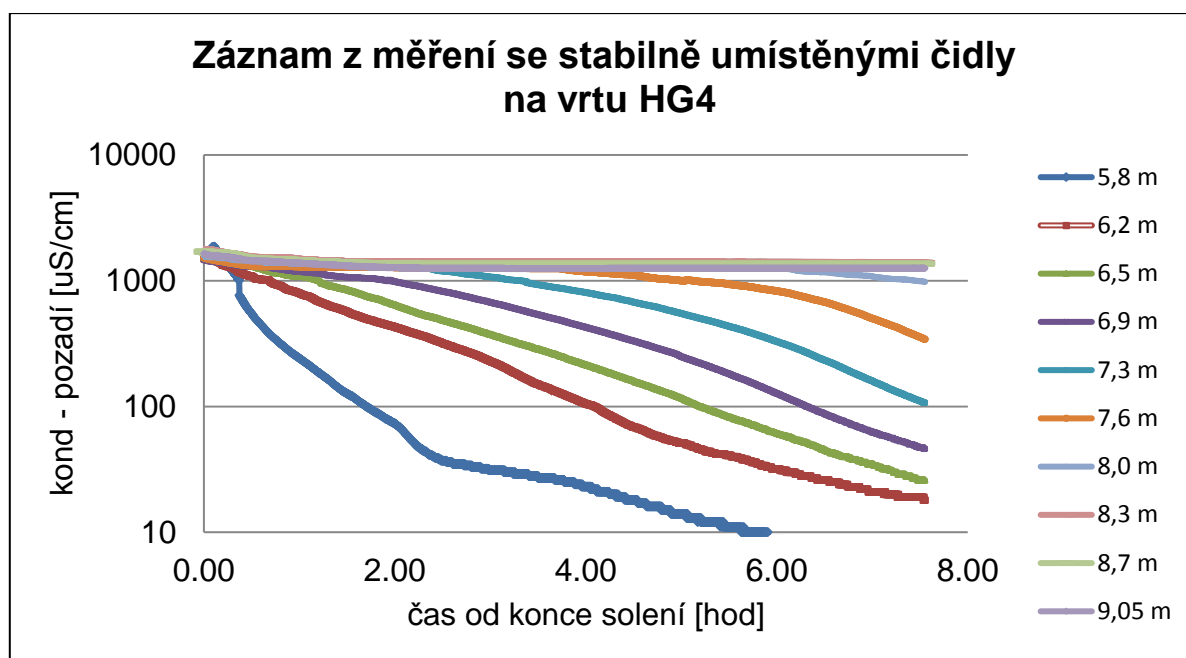


**Obrázek 103:** Ve vrtu HG3 v hloubce 6,0 – 8,7 m se rychlost proudění pohybovala okolo 0,45 m/den až 0,015 m/den.

#### Vrt HG4

Ve vrtu HG4 bylo celkově umístěno 10 čidel, které byly zavěšeny v rozestupu 36 cm a to od hloubky 5,8 m až 9,05 m. Souhrnný záznam z měření se stabilně umístěnými čidly na vrtu

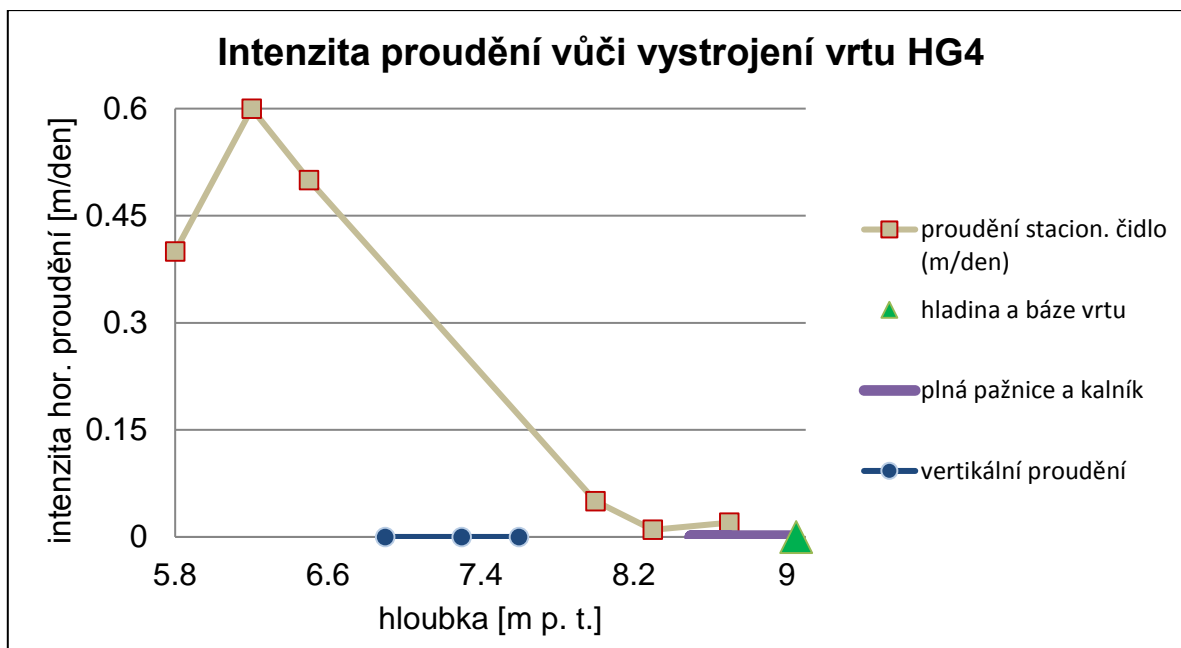
HG4 je zobrazen na obrázku 104. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 9 (Obrázek 251 – 260), je vidět, že data získána z měření se dobře shodují s exponenciálním modelem s výjimkou hloubek 5,8 m, 6,9 – 7,3 m. V hloubce 5,8 m lze získaná data vyhodnotit pro dva exponenciální modely. První exponenciální model se dobře shoduje pro rychlejší pokles konduktivity v čase do 2 h 30 min od konce solení. Následně po 2 h 30 min o dosažené konduktivitě 482 uS/cm dochází ke zpomalení poklesu konduktivity v čase a oddělení naměřených dat od rychlého exponenciálního trendu (Obrázek 251, příloha 9). Tento úsek se dobře shoduje s vyhodnocením pro pomalý exponenciální model poklesu konduktivity v čase. V hloubce 6,9 m a 7,3 m dochází k pomalému ředění a následně po 2 h k nápadnému zrychlení ředění, což je typické pro vertikální komponentu. Ve vrtu bylo zjištěno kombinované horizontální a vertikální proudění. Od hloubky 5,8 m po hloubku 6,5 a také od hloubky 8 m – 9,05 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. V hloubce 6,9 m – 7,6 m bylo zjištěno vertikální sestupné proudění (strmý úsek se objevuje na čidlech s rostoucí hloubkou čím dál později). Intenzita proudění podle rychlého úseku poklesu se pohybuje od hloubky 5,8 m k bázi vrtu okolo 1,4 m/den až 0,01 m/den. Intenzita proudění podle pomalého poklesu úseku v hloubce 5,8 m je 0,4 m/den (tabulka 54, obrázek 105). V hloubce 6,9 m – 7,6 m bylo zjištěno vertikální proudění o intenzitě 0,4 až 4 l/den. Jako reálné hodnoty intenzity proudění považují hodnoty vyhodnocené z pomalého úseku poklesu, jelikož vyšší hodnoty intenzity proudění jsou obvykle spojeny s efektem vyrovnávání koncentrací soli uvnitř vrtného stvolu a v obsypu.



**Obrázek 104:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu HG4 v hloubce 5,8 m – 9,05 m (18. 8. 2015).

**Tabulka 54:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly v různých hloubkových úrovních ve vrtu HG4. V závorce jsou uvedeny hodnoty pro pozvolný poklesový úsek.

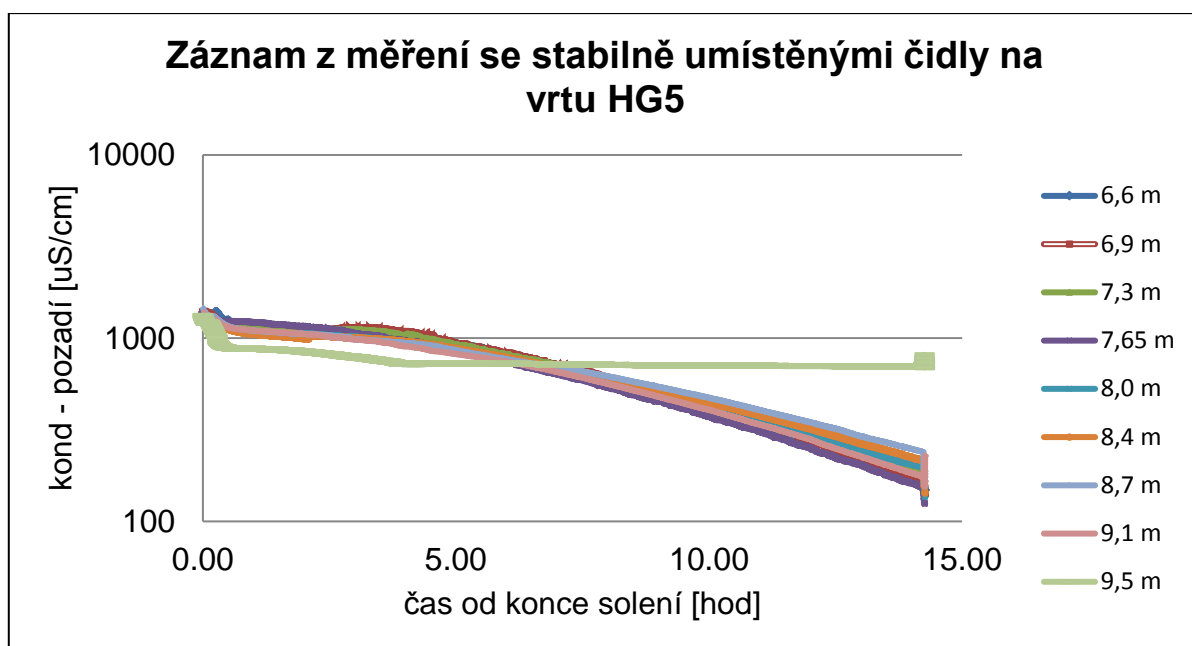
hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
5,8	50 (12)	1,4 (0,4)
6,2	21	0,6
6,5	18	0,5
8,0	1,6	0,05
8,3	0,4	0,01
8,7	0,4	0,01
9,05	0,6	0,02



**Obrázek 105:** Ve vrtu HG4 v hloubce 5,8 – 9,05 m se rychlost proudění pohybovala okolo 0,45 m/den až 0,015 m/den.

### Vrt HG5

Ve vrtu HG5 bylo celkově umístěno 10 čidel, které byly zavěšeny v rozestupu 36 cm a to od hloubky 6,6 m až 9,5 m. Jedno LTC čidlo nebylo vyhodnoceno, jelikož viselo těsně na rozhraní s hladinou. Souhrnný záznam ze stabilního měření na vrtu HG5 je zobrazen na obrázku 106. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 9 (Obrázek 262 – 270), je vidět, že ve všech hloubkových úrovních (kromě hloubky 9,5 m) docházelo nejprve k pomalému ředění koncentrace solného roztoku a následně po přibližně 5 h v k náhlému zvýšení ředění solného roztoku, což je typické pro vertikální komponentu. Ve vrtu bylo zjištěno kombinované horizontální a intenzivnější vertikální proudění. Vertikální proudění probíhá od hloubky 6,6 m – 9,1 m. Horizontální proudění probíhá v hloubce 9,5 m. Intenzita vertikálního proudění je v celém vrtu 1,8 l/den. Horizontální proudění se nachází v hloubce 9,5 m s intenzitou proudění 0,02 m/den, což odpovídá průtoku 0,6 l/den.

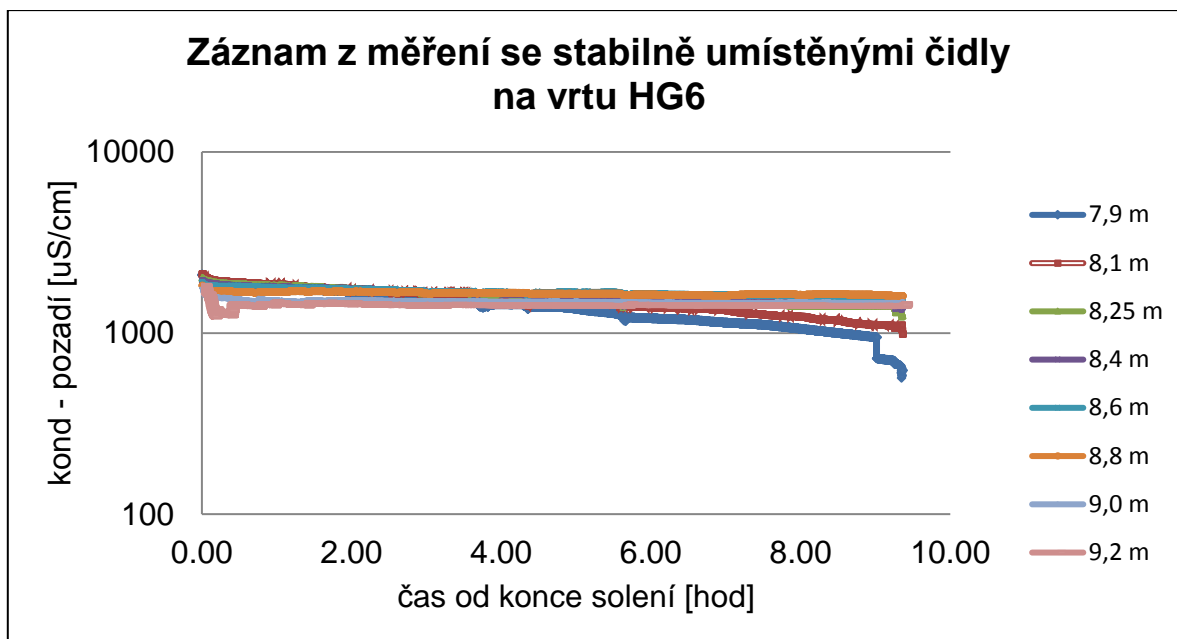


**Obrázek 106:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu HG5 v hloubce 6,6 m – 9,5 m (18. – 19. 8. 2015).

### Vrt HG6

Ve vrtu HG6 bylo celkově umístěno 8 čidel, která byla zavěšena v rozestupu 19 cm a to od hloubky 7,87 m až 9,1 m. Souhrnný záznam z měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu na vrtu HG6 je zobrazen na obrázku 107. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 9 (Obrázek 271 – 278), je vidět, že průběh poklesu konduktivity v čase se dobře shoduje s exponenciálním modelem ve všech hloubkových úrovních. Ve vrtu bylo zjištěno v hloubce 7,87 m až 9,1 m samovolné horizontální proudění. Intenzita proudění klesá od hloubky 7,87 směrem k bázi vrtu od 0,08 m/den na 0,05 m/den (tabulka 55, obrázek 108).

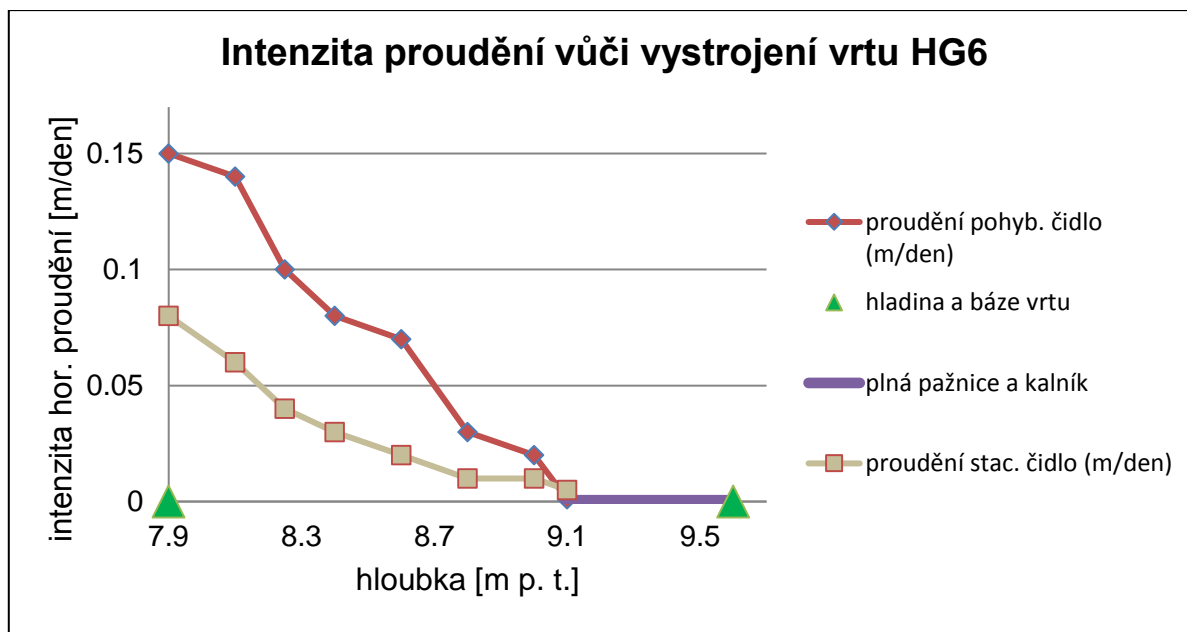
V tabulce 55 jsou také přiloženy výsledky průtoků a rychlostí proudění z klasické metody, která byla na vrtu HG6 provedena současně v průběhu měření pomocí stabilně umístěných čidel ve vrtu. Pokud srovnáme jednotlivé způsoby měření, tak vyšší rychlosti vykazuje metoda ředění s použitím klasické metody. Stabilní měření vykazuje o polovinu nižší hodnoty rychlosti proudění. Na obrázku 109 jsem srovnala rychlosti proudění z pohybujícího se čidla s čidly stabilně umístěnými ve vrtu.



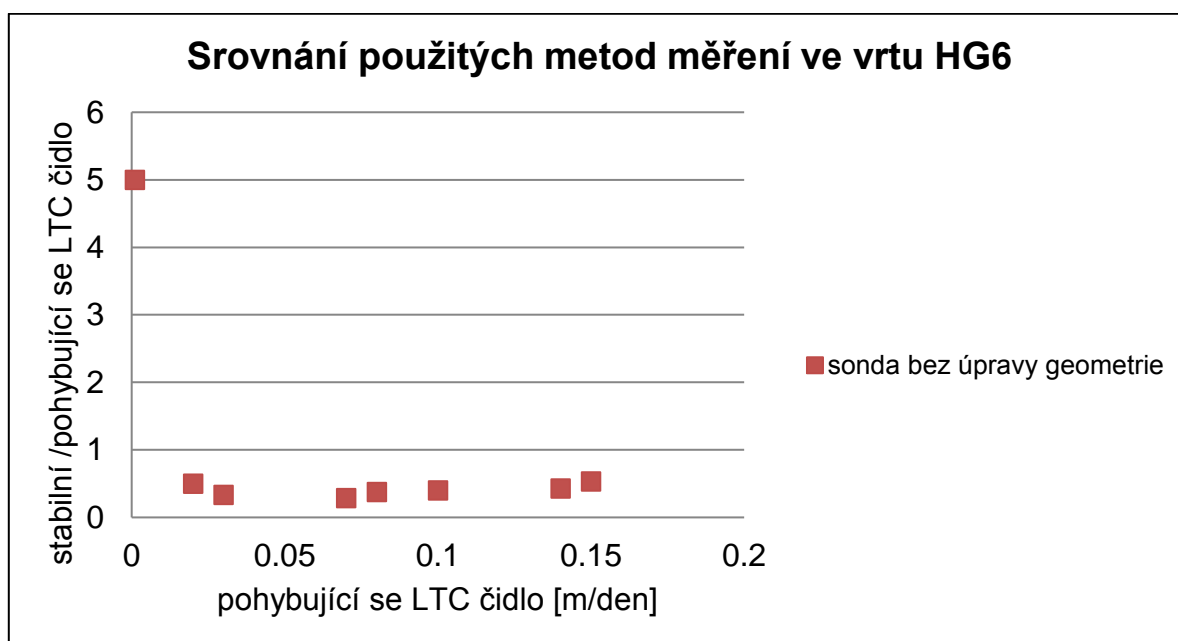
**Obrázek 107:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu HG6 v hloubce 7,9 m – 9,1 m (19. 8. 2015).

**Tabulka 55:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly a měření klasickým způsobem v různých hloubkových úrovních ve vrtu HG6.

	stabilní měření	bez úpravy geometrie měřící sondy	stabilní měření	bez úpravy geometrie měřící sondy
hloubka (m p. t.)	rychlost proudění (m/den)	rychlost proudění (m/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)
7,9	0,08	0,15	2,7	6
8,1	0,06	0,14	2,0	5
8,25	0,04	0,1	1,4	4
8,4	0,03	0,08	1,0	3
8,6	0,02	0,07	0,7	2,5
8,8	0,01	0,03	0,4	0,9
9	0,01	0,02	0,4	0,5
9,1	0,005	0,001	0,16	0,04



**Obrázek 108:** Srovnání horizontálních rychlostí na vrtu HG6 ze stabilního měření, metodou s upraveným LTC čidlem a s LTC čidlem bez úpravy v hloubce 7,9 m – 9,1 m.

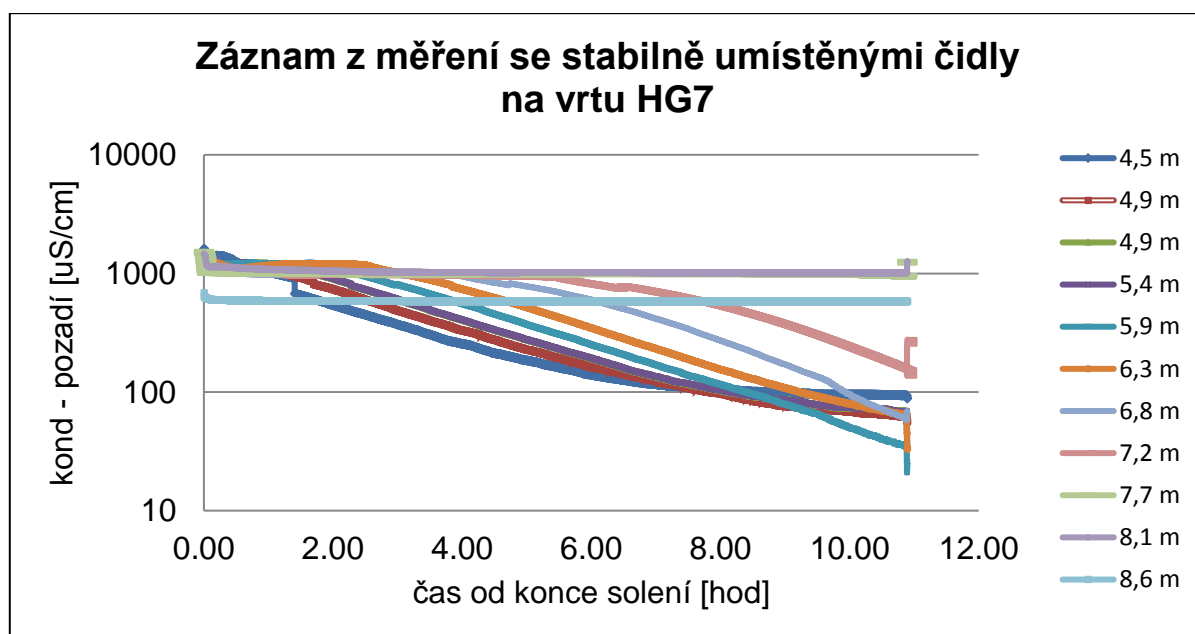


**Obrázek 109:** Srovnání rychlostí proudění pohybujících se čidel a čidel stabilně umístěných ve vrtu HG6.

## Vrt HG7

Ve vrtu HG7 bylo celkově zavěšeno 10 čidel, které byly zavěšeny v rozestupu 45 cm a to od hloubky 4,5 m až 8,6 m. Souhrnný záznam ze stabilního měření na vrtu HG7 je zobrazen na

obrázku 110. Ze získaných záznamů z měření, které se nacházejí v příloze 9 (Obrázek 279 – 288), je vidět, že data získána z měření se dobře shodují s exponenciálním modelem s výjimkou hloubek 4,5 m, 5,9 m – 7,2 m. V hloubce 4,5 po přibližně 9h od konce solení už nedochází k žádnému ředění, jelikož byla veškerá sůl vymyta. Po 10h měření se tedy exponenciální model rozchází s naměřenými daty. V hloubce 5,9 m a 7,2 m dochází k pomalému ředění a následně po 1 - 6 h k nápadnému zrychlení ředění, což je typické pro vertikální komponentu. Ve vrtu bylo zjištěno kombinované horizontální a vertikální proudění. Od hloubky 4,5, m po hloubku 5,4 a také od hloubky 7,7 m – 8,6 m bylo zjištěno ve vrtu samovolné horizontální proudění. V hloubce 5,9 m – 7,2 m bylo zjištěno vertikální proudění. Intenzita horizontálního proudění se pohybuje okolo 0,35 – 0,0005 m/den (tabulka 56, obrázek 111). Intenzita vertikálního proudění se pohybuje okolo 14 l/den.

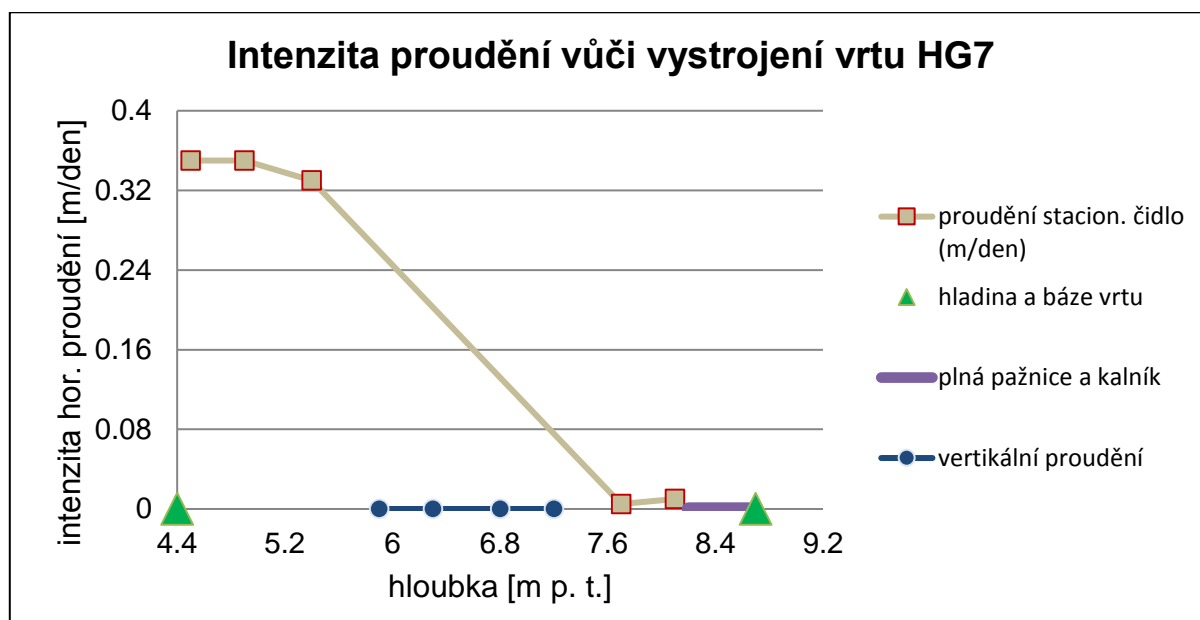


**Obrázek 110:** Záznam hodnot naměřených čidlem ze stabilního měření na vrtu HG7 v hloubce 4,5 m – 8,6 m (19. - 20. 8. 2015).



**Tabulka 56:** Souhrn výsledků z měření se stabilně umístěnými čidly v různých hloubkových úrovních ve vrtu HG7.

hloubka (m p. t.)	průtok na 10 cm vrtu (l/den)	rychlost proudění (m/den)
4,5	12	0,35
4,9	12	0,35
5,4	12	0,33
7,7	0,18	0,005
8,1	0,40	0,01
8,6	0,02	0,0005



**Obrázek 111:** Rychlosti proudění na vrtu HG7 ze stabilního měření v hloubce 4,5 m – 8,6 m.

## 6. Diskuze

Metoda ředění označené kapaliny slouží k získání základních informací o charakteru proudění podzemní vody ve vrtech (Mareš et., 1979). Díky rozvoji LTC čidel mohou tuto techniku používat i studenti s běžným hydrogeologickým vybavením (LTC čidla). Jak vyplynulo z předchozích pokusů s LTC čidly, geometrie čidla není ideální a výsledné křivky postupného vývoje koncentrací stopovače ze záznamu měření obsahují v některých případech výrazný posun rozhraní po vertikále (Rodovská, 2013).

Tento posun rozhraní může být zapříčiněn dvěma různými procesy. V prvním případě by důvodem posunu rozhraní mohl být pohyb čidla, které s sebou strhává a rozmíchává stopovač ve vodním sloupci vrtu. Tento proces však na základě výše popsáných experimentů mohu vyloučit, jelikož z výsledků zjišťování míry míšení stopovače vyplývá, že posun rozhraní z pokusů v laboratoři byl 3 x nižší, než pozorovaný posun v terénu. Bylo také zjištěno, že stopovač se zachycuje na povrchu LTC čidla, čímž tedy posun rozhraní způsobuje pouze imobilní vrstva na povrchu LTC čidla. V druhém případě by posun rozhraní mohl být způsoben špatným vymýváním stopovače v měřicí štěrbině. Z těchto důvodů byla upravena geometrie čidla v okolí měřicí štěrbině pomocí náběhové a výběhové hrany. Z experimentů, které byly provedeny v laboratoři, vyšlo najevo, že byl odbourán jev spojený s vytahováním stopovače díky imobilní vrstvě na povrchu LTC čidla. Dále bylo zjištěno, že dochází patrnému lepšímu vymývání stopovače z měřicí štěrbině. K vymytí dochází přibližně po 15 sekundách od doby, kdy samotná sonda projde fluoresceinovou značkou, což odpovídá při rychlosti pohybu 10 cm/5 s zdánlivému posunu rozhraní o 30 cm. Na základě toho zjištění, lze tedy předpokládat, že LTC čidlo s upravenou geometrií nám poskytne přesnější záznam takových hodnot koncentrací, které se v určité hloubkové úrovni opravdu nacházejí. Bylo však nutné tuto domněnku dále ověřit. Z uskutečněných experimentů byly tedy srovnány výsledky, které nám poskytlo LTC čidlo bez úpravy a LTC čidlo s upravenou geometrií tvaru okolo měřicí štěrbině. Ukázalo se, že v jednom případě byly výsledky srovnatelné u obou LTC čidel. V druhém případě pak při spuštění čidla směrem dolů došlo k vymytí roztoku fluoresceinu za 60 s/ 120 cm u LTC čidla bez úpravy, na rozdíl od LTC čidla s upravenou geometrií (90 s/ 180 cm) při velikosti fluoresceinové značky 80 cm. U LTC čidla bez úpravy tedy došlo k rychlejšímu vymytí roztoku fluoresceinu, což při rychlosti pohybu čidla 10 cm/ 5 s odpovídá vymytí roztoku fluoresceinu o 60 cm. Při vytahování čidla směrem nahoru došlo k rychlejšímu vymytí roztoku fluoresceinu u LTC čidla s upravenou geometrií (za 60 s/ 120 cm) při velikosti fluoresceinové značky 80 cm, na rozdíl od LTC čidla bez úpravy, kde nedošlo k návratu k původním hodnotám do ukončení experimentu.

Pro aplikaci LTC čidel ke sledování pohybu kapaliny ve vrtu, bylo nutné získat větší soubor dat z metody ředění označené kapaliny na skutečných vrtech. Celkově byla metoda ředění označené kapaliny zrealizována na 26 vrtech, z čehož celkem na 19 vrtech byla aplikována metoda s pohybujícím se čidlem bez úpravy. K získání co nejpřesnějšího časového záznamu s vysokým rozlišením byla celkově na 17 vrtech použita metoda se stabilně umístěnými čidly

ve vrtu. Na 4 vrtech byla aplikována metoda ředění označené kapaliny s upravenou geometrií tvaru, aby se ověřilo zlepšení vymývání stopovače z měřicí štěrbin. Kombinace měření se stabilně umístěnými čidly ve vrtu a s pohybujícím se čidlem byla zrealizována na 4 vrtech pro srovnání vlivu pohybujících se čidel.

Pokud srovnáme jednotlivé způsoby měření, tak nejvyšší rychlosti proudění poskytuje ve většině případů pohybující se LTC čidlo bez upravené geometrie tvaru. Srovnatelné a nižší intenzity rychlosti proudění přibližně o 40 - 50 % než pohybující se čidlo pak vykazují stabilně umístěná čidla ve vrtu (např. vrt HG6, V03, MV2S). Pohybující se LTC čidlo s upravenou geometrií tvaru v některých případech dosahuje srovnatelných rychlostí proudění jako stabilně umístěná čidla ve vrtu (např. vrty V02 a V10), ale ve většině případů se ukázalo, že nijak nenapomáhá rychlejšímu vymytí stopovače v měřicí štěrbině (např. vrty V03, V10, V02). Ze srovnání z měření se stabilně umístěnými LTC čidly bez ovlivnění a s ovlivněním pohybujících se LTC čidel vyšlo najevo, že čidla LTC stabilně umístěná ve vrtu se souběžným měřením pomocí pohybujících se LTC čidel vykazují přibližně o 40 % vyšší rychlosti proudění (např. vrty V02, V03 a V09).

Stabilně umístěná čidla tedy vykazují přibližně o 40 - 50 % nižší rychlosti proudění, než pohybující se čidla. Výhodou stabilně umístěných čidel ve vrtu je, že, nedochází k míšení a ředění stopovače, přirozené proudění podzemní vody není nijak ovlivňováno, není potřeba nijak umístěná čidla ve vrtu obsluhovat a navíc nám poskytnou extrémně detailní rozlišení vývoje koncentrace stopovače v čase. Stabilně umístěná čidla ve vrtu lze nejlépe prakticky využít na místech, kde vodní sloupec ve vrtu dosahuje mocnosti do cca 10 m, jelikož pak dosáhneme detailního vertikálního rozlišení (limitovaného počtem čidel). Díky tomuto způsobu měření bylo možné změřit (na rozdíl od pohybujících se čidel) i extrémně pomalé proudění, jak se ukázalo na lokalitě v Hradci Králové. Pohyblivá čidla mají tedy limit měření a nefungují na intenzity proudění pod 0,02 m/den.

## **7. Závěr**

V rámci laboratorní části této diplomové práce jsem využila průhlednou plastovou trubku, která simulovala vrt, a fluorescenční barvivo, abych charakterizovala a kvantifikovala míru míšení stopovače v důsledku pohybu LTC čidla. Z provedených měření vyšlo najevo, že v průběhu pohybu sondy směrem dolů a nahoru došlo k vytáhnutí roztoku fluoresceinu přibližně o 25 cm nahoru i dolů. Z toho lze soudit, že problém s posunem některých rozhraní

až o 1 m, který byl zjištěn z předchozích prací, nesouvisí s rozmícháváním stopovače okolo pohybujícího se čidla. Na základě tohoto zjištění jsem se zabývala zlepšením vymývání stopovače z měřicí štěrby pomocí úpravy geometrie sondy, což spočívalo ve vytvoření náběhové a výběhové hrany v oblasti měřicí štěrby. Ukázalo se, že v případě takto upravené sondy došlo ke zlepšení vymývání roztoku fluoresceinu v laboratoři. K vymytí dochází přibližně po 15 sekundách od doby, kdy samotná sonda projde fluoresceinovou značkou, což odpovídá při rychlosti pohybu 10 cm/5 s zdánlivému posunu rozhraní o 30 cm.

V případě laboratorního pokusu, kde jsem ověřovala a srovnávala výsledky naměřené pomocí LTC čidla bez upravené geometrie tvaru a LTC čidla s upravenou geometrií tvaru, vyšlo najevo, že nelze jednoznačně říci, které čidlo nám poskytne lepší a přesnější výsledky o poklesu konduktivity stopovače. Ukázalo se, že v jednom případě byly výsledky srovnatelné u obou LTC čidel a v druhém případě pak lépe došlo k rychlejšímu vymytí roztoku fluoresceinu u LTC čidla s upravenou geometrií (za 60 s/ 120 cm) při vytahování směrem nahoru, na rozdíl od LTC čidla bez úpravy, kde nedošlo k návratu k původním hodnotám do ukončení experimentu.

V rámci terénní části diplomové práce jsem zrealizovala metodu ředění označené kapaliny na čtyřech zájmových územích ve spolupráci s firmou DEKONTA, a.s. a Českou geologickou službou. Celkově bylo měření uskutečněno na 26 vrtech, z nichž bylo 15 vrtů vyvrtáno do fluvialních sedimentů a 11 vrtů do křídových hornin. Zvodnělý rozsah mocnosti vrtů se pohybuje v rozmezí 1,1 – 13 m a průměrná zvodnělá mocnost je přibližně 5 m. Metoda ředění označené kapaliny s pohybujícím se LTC čidlem bez upravené geometrie tvaru byla zrealizována na 19 vrtech, s upravenou geometrií tvaru na 4 vrtech, se stabilně umístěnými čidly ve vrtu na 17 vrtech a kombinace měření se stabilně umístěnými čidly a s pohybujícím se čidlem na 4 vrtech.

Ve fluvialních sedimentech a křídových horninách v oblasti Sojovic, Tuřic a Předměřic bylo na vrtech zjištěno horizontální proudění, výjimkou byly vrty V02 a V10, kde bylo prokázáno kombinované vertikální a horizontální proudění. Rychlost proudění, která byla upravena všeobecně akceptovaným drenážním koeficientem 2, se ve fluvialních sedimentech (vrty V01-V10 a V12) se obvykle pohybuje mezi 0,2 m/den až 2 m/den, v křídových horninách (vrt V11) pak 0,02 m/den až 0,15 m/den. Intenzita proudění ve vrtech V01, V07 a V08 se nijak

výrazně s hloubkou neliší, u vrtů V03, V04, V05 a V12 je intenzita proudění nejvyšší u hladiny a naopak ve vrtech V06 a V09 je intenzita proudění nejvyšší u báze vrtu.

Ve fluviálních sedimentech a v křídových horninách na sanované lokalitě v severní části Hradce Králové bylo na vrtech CV1, MV1S - H, MV2S - H, MV3S - H zjištěno horizontální proudění. Rychlost proudění, která byla upravena všeobecně akceptovaným drenážním koeficientem 2, se ve fluviálních sedimentech (CV1H, MV1H - 3H) pohybuje mezi 0,015 m/den až 0,0004 m/den, v křídových horninách (MV1S - 3S) pak 0,014 m/den až 0,03 m/den. Podzemní voda tedy protéká vrty s velmi nízkou intenzitou, i když byla na centrálním vrtu recirkulována voda s intenzitou 300 l/hod. Vyšší rychlosti proudění se vyskytují ve spodní zvodni v křídových horninách, než ve zvodni horní v kvartérních náplavách.

V křídových horninách na sanované lokalitě v jihovýchodním okraji Pardubic - Černá za Bory bylo na vrtech zjištěno horizontální proudění, výjimkou byly vrty HG4, HG5 a HG7, kde bylo prokázáno kombinované vertikální a horizontální proudění. Rychlost proudění, která byla upravena všeobecně akceptovaným drenážním koeficientem 2, se v kvartérních náplavech pohybuje mezi 0,05 m/den až 0,9 m/den a v křídových horninách pak mezi 0,0005 m/den až 0,02 m/den. Z intenzity proudění je jasně patrné, že podzemní voda na lokalitě proudí pouze ve fluviálních sedimentech, v křídových horninách podzemní voda na lokalitě v podstatě stagnuje.

Metoda ředění označené kapaliny byla na lokalitě Lanškroun v křídových horninách bělohorského souvrství (silně zvětralý prachovec) uskutečněna za přirozeného proudění a za čerpání (0,014 l/s) na vrtu HV201. Na vrtu bylo zjištěno horizontální proudění jak za vynucených podmínek, tak za přirozeného proudění. Rychlost proudění, která byla upravena všeobecně akceptovaným drenážním koeficientem 2, se v křídových horninách bez čerpání pohybuje mezi 0,08 m/den až 0,5 m/den, za čerpání pak 0,2 m/den až 0,6 m/den.

Z výsledků metody ředění označené kapaliny, kdy byly vyzkoušeny i nové způsoby měření (stabilně umístěná čidla ve vrtu nebo upravená geometrie tvaru LTC čidla), vyšlo najevo, že nejvyšší rychlosti proudění poskytuje ve většině případů pohybující se LTC čidlo bez upravené geometrie tvaru. Srovnatelné a nižší intenzity rychlosti proudění přibližně o 40 - 50 % než pohybující se čidlo pak vykazují stabilně umístěná čidla ve vrtu. Pohybující se LTC čidlo s upravenou geometrií tvaru nijak významně nepřispělo k rychlejšímu vymytí stopovače v měřicí šterbině, a tím pádem i k zdánlivému zvýšení rychlosti proudění. Kombinace měření

se stabilně umístěnými čidly a s pohyblivým se čidlem vykazují přibližně o 40 % vyšší rychlosti proudění, než pouze stabilně umístěná čidla ve vrtu. Z dosažených výsledků také vyšlo najevo, že nízké a extrémně pomalé hodnoty rychlosti proudění (přibližně pod 0,02 m/den) nejsou pohyblivá čidla schopna změřit, na rozdíl od stabilně umístěných čidel ve vrtu.

Z výsledků mé diplomové práce lze konstatovat, že metodu ředění označené kapaliny lze měřit i pomocí LTC čidel. Za nejvěrohodnější záznamy o ředění stopovače považuji záznamy získané ze stabilně umístěných čidel ve vrtu. Jiné úpravy geometrie LTC čidla, která by zefektivnila vymytí stopovače z měřicí štěrbin a zpřesnila výsledky hodnot konduktivity pro dané hloubkové úrovně, by do budoucna mohla být soustředěna další pozornost.

## 8. Použitá literatura

- Brainerd, R. J., Robbins, G. A. (2004): A Tracer Dilution method for Fracture Characterization in Bedrock Wells, *GROUND WATER*, Vol. 42, No 5, str. 774 – 780.
- Burda, J., Jinochová, J., Manová, M., Müller, V., Pačesová, E., Šalanský, K., Vejlupek, M. (1998): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50000 List 13-22 Jaroměř. ČGÚ, Praha.
- Burda, J., Čurda, J., Gürtlerová, P., Holásek, O., Klečák, J., Knotek, Z., Lysenko, V., Majer, V., Müller, V., Rambousek, P., Tíma, V., Tomášek, M. (1993): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50000 List 13 – 42 Pardubice. ČGÚ, Praha.
- Dosoudil, P. (2014): Sanace v areálu firmy ALEMA Lanškroun, technická zpráva vrtných prací. DEKONTA, a.s., 2014. ČGS - Geofond P142971.
- Faflík, D. (2009): AR bývalého areálu KOVO Velká Hleďsebe, Analýza rizika – Doplněk č. 1. SaNo CB s.r.o., Trhové Sviny, MS, 91 str.
- Halevy, E., Moser, H., Zellhofer, O., Zuber, A. (1967): Borehole dilution techniques: A critical review. In *Proceedings of the symposium on Isotopes in Hydrology*, Vienna, Austria: I. A. E. A., str. 531 - 564
- Herčík, F., Herrmann, Z., Valečka, J. (2003): *Hydrogeology of The Bohemian Cretaceous Basin*. 1. vydání. Český geologický ústav, Praha 2003. 96 str., ISBN 80-7075604-7
- Herrmann, Z., Kolaja, V. (1998): *Hydrogeologická syntéza labského kvartéru*, závěrečná zpráva. AQUATEST Stavební geologie, a.s.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stránil, Z. (2011) : *Geologická minulost České republiky*. 2. vydání. Academia Praha, 2011, 436 str., ISBN 978-80-200-1961-5

- Kaas, A., Valečka, J., Nakládal, V., Herčík, F. (1987): Hydrogeologická syntéza české křídové pánve Bilanční celek 2. Stavební geologie n. p., Praha.
- Käss, W., Behrens, H., Himmelsback, Th., Hötzl, H., Hunkeler, D., Leibundgut, C. H., Moser, H., Rossi, P., Schultz, H. D., Stober, I., Werner, A. (1998): Tracer technique in geohydrogeology. Balkema, Rotterdam, 581 str.
- Kobr, M. (2013): Informace o metodě ředění označené kapaliny. Ústní sdělení a osobní sdělení, RNDr. Miroslav Kobr, CSc., Albertov 6, 128 43 Praha 2
- Kozubek, P. (2008): DS PHM Hradec Králové. Studie proveditelnosti. Závěrečná zpráva. MS, ENACON, s.r.o., Praha.
- Krásný, J., Čurda, S., Datel, J. V., Dvořák, J., Grmela, A., Hrkal, Z., Kříž, H., Marszałek, H., Šantrůček, J., Šilar, J. (2012): Podzemní vody České republiky, Regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. 1. vydání. Česká geologická služba, Praha 2012. 1 144 str., ISBN 978-80-7075-797-0.
- Kukačka, J. (2015): Informace o geologické dokumentaci z lokality Hradec Králové. E-mailová korespondence, RNDr. Jan Kukačka, DEKONTA, a.s., kukačka@dekonta.cz
- Kukačka, J., Urban, O., Kubricht, J., Šváb, M., Mls, J., Bruthans, J., Ondovčín, T., Šindelář, J. (2014): Inovace a využití cirkulačních vrtů s vloženým reaktorem v sanační geologii. DEKONTA, a.s., Praha 2014, 49 str.
- Lukeš, J. (1974): Určování filtračních vlastností hornin z karotážních měření v hydrogeologických vrtech. Kandidátská disertační práce, Přírodovědecká fakulta UK, Praha 1974, 112 str.
- Mareš, S., Zbořil, A. (1978): Metodické pokyny pro karotážní práce. Učební texty postgraduálního studia užití geofyziky 1978 – 1980. Technika geofyzikálního měření ve vrtech. Přírodovědecká fakulta UK, Praha 1978, 158 str.
- Mareš, S., Hrách, S., Marek, F., Matolín, M., Válek, R. (1979): Úvod do užití geofyziky. Nakladatelství technické literatury, Praha 1979, 590 str.
- Mareš, S., Valtr, V. (1987): Komplexní interpretace karotáže při hydrogeologickém a inženýrskogeologickém průzkumu. Učební texty postgraduálního studia užití geofyziky 1985 – 1987. Přírodovědecká fakulta UK, Praha 1987, 136 str.
- Maurice, L., Barker, J. A., Atkinson, T. C., Williams, A. T., Smart, P. L. (2011): A Tracer Methodology for Identifying Ambient Flows in Boreholes, GROUND WATER, Vol. 49, No 2, str. 227 – 238.
- Mayo, A. L. (2010): Ambient well – bore mixing, aquifer cross – contamination, pumping stress, and water quality from long – screened wells; What is sampled and what is not? Hydrogeology Journal 18, str. 823 – 837.
- Milický, M., Šantrůček, J., Gvozdík, L., Chaloupková, M. (2011): Úprava vody Káraný, Hodnocení časového vývoje zásob a jakosti podzemní vody za hydrogeologický rok 2011, optimalizace

- provozování umělé infiltrace, optimalizace provozování zdrojů břehové infiltrace se zvýšeným obsahem dusičnanů. Progeo, s.r.o.
- Müller, V., Havlíček, P., Holásek, O., Hradecká, L., Jinochová, J., Klečák, J., Majer, V., Manová, M., Rudolský, J., Šalanský, K., Zelinka, Z. (2001): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000 List 13 – 11 Benátky nad Jizerou. ČGÚ, Praha.
- Pitrák, M. (2013): Informace o metodě ředění označené kapaliny. Osobní sdělení, RNDr. Michal Pitrák, PhD., AQUATEST a.s., divize 32 – karotáž (Well Logging), Geologická 4, 152 00 Praha 5, [www.aquatest.cz](http://www.aquatest.cz).
- Pitrák, M. (2007): Hydro-karotážní měření přirozeného proudění podzemní vody v sedimentárních horninách s využitím metody ředění označené kapaliny. Doktorská práce. MS, Přírodovědecká fakulta UK, Praha 2007, 82 str.
- Pitrák, M., Mareš, S., Kobr, M. (2007): A Simple Borehole Dilution Technique in Measuring Horizontal Ground Water Flow, GROUND WATER, Vol. 45, No 1, str. 89 – 92.
- Pitrák, M., Kobr, M. (2001): Postupy měření, zpracování a prezentace karotážních hydrogeologických orientovaných dat, [www.web.natu.cuni.cz/uhigug/present/kobr/karot/welcome.htm](http://www.web.natu.cuni.cz/uhigug/present/kobr/karot/welcome.htm), (29. 3. 2013)
- Procházka, M. (2016): Informace o metodě ředění označené kapaliny. E-mailová korespondence, RNDr. Martin Procházka, sekce karotáž, AQUATEST a.s., [www.aquatest.cz](http://www.aquatest.cz)
- Procházka, M. (2013): Informace o metodě ředění označené kapaliny. Ústní sdělení, RNDr. Martin Procházka, sekce karotáž, AQUATEST a.s., [www.aquatest.cz](http://www.aquatest.cz)
- Rodovská, Ž. (2013): Využití konduktometru pro charakterizaci proudění vody ve vrtu: Testování pomocí umělého vrtu. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha 2013, 65 str.
- Rybářová, M. (2015): Hydrogeologie kvartéru v prostoru Skorkovského a Sojovického jímacího řádu na základě nových údajů z vrtů. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha 2015, 107 str.
- Tolasz, R., Brázdil, R., Bulíř, O., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Hájková, L., Halásová, O., Hostýnek, J., Janouch, M., Kohut, M., Krška, K., Křivancová, S., Květoň, V., Lepka, Z., Lipina, P., Macková, M., Metelka, L., Míková, T., Mrkvica, Z., Možný, M., Nekovář, J., Němec, L., Pokorný, J., Reitschläger, J. D., Richterová, D., Rožnovský, J., Řepka, M., Semerádová, D., Sosna, V., Stříž, M., Šercl, P., Škáchová, H., Štěpánek, P., Štěpánková, P., Trnka, M., Valeriánová, A., Valter, J., Vaníček, K., Vavruška, F., Voženílek, V., Vráblík, T., Vysoudil, M., Zahradníček, J., Zusková, I., Žák, M., Žalud, Z. (2007): Atlas podnebí Česka. 1. vydání. Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav, Universita Palackého, 2007. 256 str., ISBN 978-80-86690-26-1.



Veleba, P. (2015): Informace o geologické dokumentaci z lokality Černá za Bory. E-mailová korespondence, Ing. Petr Veleba, DEKONTA, a.s., veleba@dekonta.cz.

Veleba, P. (2015): Mazutové hospodářství na lokalitě Černá za Bory – ohrožení podzemní vody jímacího území Nemošice – analýza rizik. Závěrečná zpráva. DEKONTA a.s., Praha.

## Internetové zdroje

ČHMÚ (2015): Hydrogeologické rajóny, Online:

<http://hydro.chmi.cz/hydro/index.php?wmapp=WEBAPP&wmap=hgr50#center=-668133.1590416664,-1081265.9612500002&zoom=2>, (14. 12. 2015)

ČÚZK (2015): ArcGis,ČGSmobil, Online:

<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=272f83d36166418ca6dc424543ac913c#>, (23. 11. 2015)

Esri (2015): ArcGis,ČGSmobil, Online:

<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=272f83d36166418ca6dc424543ac913c#>, (23. 11. 2015)

Maneko (2016): Přenosný pH – konduktometr Cond 340i:

<http://www.maneko.cz/prenosny-ph-konduktometr-ph-cond-340i/>, (30. 1. 2016)

SEKM (2016): Systém evidence kontaminovaných míst:

<http://info.sekm.cz/>, (19. 7. 2016)

Solinst (2016): LTC Levellogger Junior:

<http://www.solinst.com/products/dataloggers-and-telemetry/3001-levellogger-series/ltc-levellogger-junior/datasheet.php>, (30. 1. 2016)

Solinst (2016): Barologger 3001:

<http://www.solinst.com/products/dataloggers-and-telemetry/3001-levellogger-series/levellogger-edge/datasheet/barometric-compensation.php>, (30. 1. 2016)

## SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha 1:** Obrázek 1 – 118, výsledky měření z lokality Káraný

**Příloha 2:** Obrázek 119 – 141, výsledky z měření z lokality Hradec Králové

**Příloha 3:** Obrázek 142 - 146, výsledky z měření z Černé za Bory

**Příloha 4:** Obrázek 147– 156, výsledky z měření z lokality Lanškroun

**Příloha 5:** Obrázek 157 – 185, výsledky z měření s upravenou měřicí sondou - Káraný

**Příloha 6:** Obrázek 186 – 200, výsledky stabilního měření v Káraném

**Příloha 7:** Obrázek 201 – 215, výsledky kombinace stabilního měření a pohybujícího se  
čidla v Káraném

**Příloha 8:** Obrázek 216 – 222, výsledky stabilního měření v Hradci Králové

**Příloha 9:** Obrázek 223 – 288, výsledky stabilního měření v Černé za Bory